



MÁSTER

TÉCNICAS Y SISTEMAS DE EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

EVOLUCIÓN Y CONSECUENCIAS DE LAS DEFORMACIONES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Tutor:

Dr. Alfonso Cobo Escamilla

Alumno:

Francisco Gil Carrillo

1 ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	OBJETIVOS	5
3	ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS.....	6
4	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	37
5	DESARROLLO DEL TRABAJO	39
6	CONCLUSIONES	80
7	LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	81
8	REFERENCIAS	82
9	INDICE ANEXO DE CALCULO	84

2 INTRODUCCION

El incremento de patologías en los edificios debidos a un exceso de deformaciones por flechas excesivas en las estructuras de hormigón, son origen de un incremento de sentencias judiciales condenatorias contra técnicos autores de proyectos, originado en primera instancia por un desconocimiento por parte de la adjudicatura de los orígenes reales y en otras ocasiones por la facilidad que implica una condena firme acompañada con un resarcimiento económico respaldado por un seguro de actuación profesional de los técnicos autores del proyecto sean responsables o no.

Esta inseguridad jurídica que sufren los técnicos, debidos a los dos factores enunciados anteriormente nos llevan a preguntar por qué se producen flechas excesivas que generan patologías intentado analizar desde la normativa que ampara dichos cálculos y su evolución en el tiempo como se han desarrollado las actuaciones de los proyectistas en el diseño y calculo, así como a la ejecución de propias obras.

Este trabajo de investigación una vez iniciado y desarrollado, pretende servir como herramienta de comprobación para los distintos agentes intervinientes en un proceso judicial de reclamación de responsabilidades contra técnicos autores de proyectos, calculista, directores de ejecución de obras, y así no proceder de manera inmediata a una condena solidaria cómoda y resolutive pecuniariamente pero en algunos casos injusta.

3 OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo de investigación son:

Analizar la influencia de la evolución de la normativa relativa al hormigón armado en el cálculo de las flechas de las estructuras.

Analizar las patologías en las estructuras de hormigón debidas a las deformaciones excesivas.

3.1 EVOLUCION DE LAS NORMATIVAS

El objetivo de este estudio es demostrar que las normas españolas desde la INSTRUCCIÓN para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-68ⁱ hasta la INSTRUCCIÓN de hormigón estructural EHE-08ⁱⁱ no alcanzan el nivel de respuesta a las necesidades reales de las estructuras de hormigón en los aspectos relacionados con la comprobación de deformación por flechas¹,(CALAVERA,1983). Un análisis comparativo de las distintas normas tiene como fin demostrar que el origen de los fallos o la aparición de patologías por exceso de flechas no siempre es originada por una mala praxis por parte del proyectista, calculista o la ejecución, sino de una inadecuación de las normas a la realidad de la ejecución de las obras en cada estadio de tiempo.

¹ La palabra EXCESIVA debe ser interpretada con cierta mesura, pues en algunos casos se trata de flechas excesivas desde el propio punto de vista estructural, pero en otros la palabra ha de referirse a la posibilidad de que tales flechas, no resultando excesivas para la estructura, lo sean para otros elementos no estructurales de la construcción.

4 ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS

Existen numerosas investigaciones relacionadas con el análisis de las deformaciones en el Hormigón armado y en su limitación.

En el ámbito nacional cabe destacar las investigaciones realizadas por Pérez ⁱⁱⁱy Barbera en la Universidad Politécnica de Valencia.

Los estudios realizados por éstos son de los más recientes existentes hasta el momento y vienen a coincidir en el diagnóstico de otros investigadores españoles en este campo como son Calavera y Dutari^{iv}, manifestando el hecho y coincidiendo en prácticamente los factores que consideran que han incrementado la detección de patologías en estructuras debidas a exceso de deformación por flechas verticales. Estos factores son los siguientes:

- Los refinamientos en el análisis estructural como consecuencia del uso generalizado de ordenadores personales y de programas.^v y ^{vi}
- La reducción del momento de inercia equivalente^{vii} de las secciones debido al el empleo de aceros de límite elástico mucho mayor.
(ÁLVAREZ J.,1984) ^{viii}
- El cambio del llamado “método clásico” de dimensionamiento (en tensiones admisibles) al método de los estados límite, que supuso una reducción de los márgenes de seguridad, sobre todo en flexión.
- El incremento de las deformaciones del bloque comprimido a causa de la citada reducción de los coeficientes de seguridad y del aumento de la

resistencia a compresión especificada, que no va acompañada de un incremento proporcional del módulo de deformación.

- El aumento notable de las luces de las vigas y de los forjados y, con carácter general, de los recuadros estructurales (GILBERT R. I ,2001)^{ix}.
- La reducción drástica del canto de las vigas, en especial desde que se empezaron a utilizara masivamente las llamadas “vigas planas”.
- La aparición de plantas sensiblemente diáfanas por debajo de otras muy compartimentadas y del abuso del concepto de “mirador”.
- La concurrencia, en un mismo inmueble, de plantas destinadas a viviendas y de otras utilizadas como aparcamiento, con un perjuicio demasiado frecuente y pocas veces justificable de la calidad del proyecto de la estructura debido a la aparición de vigas puente.
- El incremento del ritmo de ejecución, que conduce a la aplicación de cargas a edades más tempranas; es decir, a un valor mayor de la relación tensión aplicada/resistencia y, por tanto, de las deformaciones diferidas en general y de la flecha activa en particular.

Como resumen de estas investigaciones, se puede concluir que ha habido un incremento de las tensiones aplicadas, una reducción progresiva de las secciones de las piezas y un aumento de las luces de éstas, y que esta tendencia sigue vigente, por lo que la comprobación de los estados límite de servicio y, muy en

particular, el control de la fisuración y de las deformaciones, es cada vez más importante y necesario.

Otros investigadores españoles como Atela ^x, que mediante su tesis doctoral, han investigado acerca de la limitación de flechas en piezas de hormigón armado sometido a flexión siguiendo la normas actuales desde 1984, entre sus conclusiones cabe destacar las siguientes:

- La importancia de los daños que pueden producirse a causa de la deformabilidad excesiva de los elementos de hormigón armado sometidos a flexión exige la consideración del estado límite de deformación en aquellos casos en que el control de flechas se estime necesario.
- En muchos casos, la verificación del estado límite de deformación es decisiva para el dimensionamiento y no el estado límite último de resistencia.
- Para realizar el cálculo en el estado límite de deformación se aconseja establecer métodos sencillos, fáciles de aplicar en la práctica y que guarden una precisión suficiente.

4.1 ANTECEDENTES

Actualmente la mayoría de las patologías que tienen su causa en un problema estructural se debe a las flechas excesivas de vigas y forjados. Estas deformaciones provocan generalmente fisuras que aparecen en tabiquerías, cerramientos exteriores de ladrillo (fábricas) y solados, cuando tienen cierta entidad, o en simples roturas del yeso de enlucido cuando los movimientos son menores.

En los últimos años, la sensibilidad del comprador de una vivienda ha aumentado mucho en esta dirección, por lo que se ha creado una cierta “psicosis” entre todos los profesionales del sector, y no es extraño que se solicite la actuación pericial para observar, bajo la luz de una linterna, una micro fisura en el hormigón de recubrimiento en la zona de máxima tracción, perfectamente necesaria y prevista en cálculo.

Como es sabido, existen una serie de fisuras consustanciales con la propia naturaleza del hormigón armado, tales como, las micro fisuras que aparecen para que el hormigón trabaje como tal al alargarse el acero, las de asentamientos y retracciones plásticas, las de contracción térmica, retracción hidráulica, etc., que aparecen en las primeras horas o días, durante el vertido, fraguado, endurecimiento y secado del hormigón, y que no tienen mucho que ver con problemas estructurales. Otras fisuras, como las marcadas en el yeso entre piezas aligerantes y nervios de hormigón, suelen aparecer, por la diferente velocidad de secado que propician por un lado, la distinta capacidad de absorción de una bovedilla de hormigón o cerámica

y el propio nervio, y por otro, las cada vez más delgadas capas de yeso que se disponen en los enlucidos para ahorrar tiempo y material.

Existen otras fisuras que aparecen por errores de montaje, mucho más frecuentes de lo que se cree, ya que el acero llega generalmente a obra agrupado por diámetros, en varias “montañas”, de las cuales es preciso que el ferrallista, generalmente trabajando a destajo, vaya extrayendo lo que necesita, haciendo en ocasiones caso omiso de la avalancha de detalles con que solemos “decorar” nuestros planos de estructura.

Otras se deben a la velocidad y circunstancias de la ejecución. Muchas veces, en fase constructiva, se sobrecargan en exceso los forjados con materiales de construcción, quedando algunas zonas fisuradas más allá de lo previsto, perdiendo una rigidez que ya no recuperarán. Tampoco es corriente que se realice un descimbrado y recimbrado de placas para redistribuir las tensiones de encofrado.

Los promotores deberían ser conscientes de que la ejecución rápida ahorra dinero, pero tiene efectos colaterales que implicarán costes posteriores que deberían ser contabilizados.

Existen también las “fisuras de diseño”, propiciadas por la comodidad con que plantean algunos proyectistas el replanteo de los edificios que proyectan, con pilares totalmente desalineados, luces finales de más de 6 m, pilares rodeados de bajantes, medianeras segadas por huecos de todo tipo, con unos tristes 15 cm. para pasar un apurado zuncho, apeos, y apeos de apeos etc.

Por último, y dejando aparte los errores de cálculo, quedan las fisuras debidas a una deformación excesiva no compatible con el uso del edificio, que podían haberse reducido, o bien con un canto superior del forjado (lo ideal) o con más acero en algunos puntos de la placa. Este trabajo estudia únicamente este aspecto, que es el único que corresponde estrictamente al calculista de la estructura, aunque se sabe serán considerados los primeros sospechosos, si no directamente culpables, sea cual sea el origen de la “maldita” fisura.

En primer lugar, es preciso explicar a los usuarios, especialmente al comprador de una vivienda, que la estructura debe moverse, ya que un profano tiende a verla como algo monolítico y estático.

Un argumento sencillo puede aclarárselo a cualquiera: Si la estructura no se mueve no trabaja, y si no va a trabajar, ¡pues mejor nos la ahorramos! y fuera problemas.

Aceptada la realidad de que existen deformaciones, lo lógico sería definir los límites admisibles por debajo de los cuales no sería procedente ninguna reclamación por patologías debidas a movimientos inferiores a los normalizados. En este aspecto, todas las normas del hormigón han sido extraordinariamente cicateras, seguramente con la intención de proteger al comprador en todos los casos.

La INSTRUCCIÓN para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-91^{xi}, en su Artículo 45.1, no definía límites, pero responsabiliza de las consecuencias al proyectista.²

La norma, EHE, da un paso al proponer unos límites en su artículo 50.1 (flecha activa menor que la luz/400 o 1 cm), pero lo hace a nivel de comentario por lo que prácticamente se sigue igual desde el punto de vista legal.

La misma EHE-08 en su artículo 50.2.2.1 especifica: “No será necesaria la comprobación de flechas cuando la relación luz/canto útil del elemento estudiado sea igual o inferior a los valores indicados en la tabla 50.2.2.1” la tabla 1 reproduce la tabla 50.2.2.1 de la EHE-08.

² Artículo 45° Deformaciones
45.1. Generalidades

El autor del proyecto debe considerar que en el caso de piezas que se sustentan o descansan en elementos no estructurales de la construcción, la necesidad de evitar daños en tales elementos puede ser más limitativa, en cuanto a deformaciones de la estructura, de lo que ésta exija como estructura aisladamente considerada.

SISTEMA ESTRUCTURAL L/D	K	ELEMENTOS FUERTEMENTE ARMADOS $\rho=1.5\%$	ELEMENTOS DEBILMENTE ARMADOS $\rho=0.5\%$
Viga simplemente apoyada Losas unidireccional o bidireccional	1	14	20
Viga continua ¹ en un extremo Losas unidireccional continua ¹² en un solo lado	1.3	18	26
Viga continua ¹ en ambos extremos Losas unidireccional o bidireccional continua ¹²	1.5	20	30
Recuadros de exteriores y de esquinas en losa sin vigas sobre apoyos aislados	1.15	16	23
Recuadros interiores en losas sin vigas sobre apoyos aislados	1.20	17	24
Voladizos	0.40	6	8
Tabla 50.2.2.1.a relaciones Luz Canto según EHE-08 L/d en vigas y losas de hormigón armado sometidos a flexión simple			
<p>1 Un extremo se considera si el momento correspondiente es igual o mayor al 85% del momento de empotramiento perfecto.</p> <p>2 En losas unidireccionales, las esbelteces dadas se refieren a la luz menor.</p> <p>3 En losas sobre apoyos aislados (pilares), las esbelteces dadas se refieren a la luz mayor.</p> <p>En el caso particular de forjados de viguetas con luces menores de 7m. y de forjado de losas alveolares pretensadas con luces menores de 12m., y sobrecargas menores de KN/m², no es preciso calcular la flecha cumple con las limitaciones de 50.1 si el canto total h es mayor que el mínimo h_{min} dado por.</p> $h_{min} = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C$ <p>siendo:</p> <p>δ_1 Factor que depende de la carga total y que tiene el valor de $\sqrt{q/7}$ siendo q la carga total KN/m².</p> <p>δ_2 Factor que tiene el valor $L/6^{(1/4)}$</p> <p>L la luz de cálculo del forjado, en m.</p> <p>C coeficiente que se obtiene de la tabla 50.1.1.2.b</p>			
Tabla 1 Relaciones Luz Canto según EHE-08			

Seguir los criterios de esta tabla, cuando el canto es razonable, puede considerarse un sistema muy cómodo, ya que el cálculo de la deformada es complejo y laborioso, pero en la práctica nos lleva en muchos casos a obtener deformaciones superiores a las esperadas, sobre todo si la carga es importante.

Anteriormente con la EH-91, seguíamos los criterios de cantos mínimos de la EF-88, después EF-96, menos restrictivos que los actuales EHE, con los que la problemática se agudizaba.

Se puede por tanto, elegir un canto según 50.2.2.1 de EHE y realizar un simple cálculo por esfuerzos de la estructura, confiando que todo irá bien, o plantearnos calcular posteriormente el estado de fisuración y deformación de las barras armadas según la hipótesis anterior. Podremos así reforzar con acero los puntos críticos, lo cual, al disminuir las tensiones de las barras, cerrará parcialmente las micro fisuras (debidas a que el hormigón no puede seguir las deformaciones del acero y por lo tanto inevitables) y reducirá las deformaciones que son proporcionales a las tensiones.

La expresión coloquial de la idea anterior, para que la pueda entender un cliente profano podría ser la siguiente: Imaginemos que calculamos una goma que pueda sostener un determinado peso. Una vez hallada, y colgado el peso, ésta se estira una determinada longitud sin que se rompa (cálculo por esfuerzos) hasta alcanzar el equilibrio. Si tal disposición nos conviene, habríamos acabado el dimensionado, pero de no ser así, bastaría colocar dos gomas para que el alargamiento fuera la mitad. En ninguno de los casos existe peligro de rotura (debe quedar claro para el profano que las fisuras por deformaciones normales no implican riesgo de ruina del edificio), pero en el segundo tendríamos un exceso de material resistente, trabajando a la mitad de su tensión admisible y una menor deformación.

En definitiva, se trata de una solución más cara. Debe quedar claro que cualquier sistema de lucha contra las pequeñas fisuras implicará unos costes, a cambio de ahorros posteriores en reparaciones, y en prestigio ante los clientes.

Tampoco se ha de olvidar que con el cálculo y armado de la estructura, solamente es posible luchar hasta cierto punto contra esta patología, porque admitido que las estructuras deben moverse, pretender reducir estos movimientos más allá de ciertos límites razonables, puede ser excesivamente caro además de ineficaz. Como se verá más adelante, es preciso abordar la solución desde otros frentes además del cálculo estructural, ya que la solución de este problema de causas múltiples sólo puede ser múltiple.

INTENTANDO DICRETIZAR, las deformaciones han originado cinco grupos de problemas claramente diferentes en las construcciones de hormigón armado. Todos ellos se derivan del hecho de que el cálculo frente a los restantes estados límites, últimos y de servicio, puede conducir a una estructura satisfactoria desde todos esos puntos de vista, pero no frente al estado límite de servicio de la deformación excesiva.

La palabra **EXCESIVA** debe ser interpretada con cierta medida, pues en algunos casos se trata de flechas excesivas desde el propio punto de vista estructural, pero en otros la palabra ha de referirse a la posibilidad de que tales flechas, no resultando excesivas para la estructura, lo sean para otros elementos no estructurales de la construcción.^{xii}

Los cinco grupos mencionados son los siguientes:

1-Flechas horizontales excesivas producidas por acciones de viento, con riesgo para cerramientos y tabiquerías.

2-Flechas verticales excesivas que sin riesgo para partes no estructurales, producen mal efecto estético.

3-Flechas verticales excesivas, que sin riesgo para las partes no estructurales y sin producir mal efecto estético, dificultan la eliminación de agua, de las cubiertas.

4-Vibraciones que resultan molestas para las personas, o perjudiciales para los equipos contenidos en el edificio.

5-Flechas verticales de vigas, losas y forjados con riesgo para cerramientos y tabiquerías.

Este último punto ha sido históricamente un problema fundamental en el desarrollo de los edificios en altura y esbeltos, que presentaban incompatibles con los cerramientos clásicos de piedra o ladrillo y con los cerramientos de cristal.^{xiii} de hecho este problema fue uno de los aspectos que más impulsaron la aparición del muro cortina.

Es siempre un problema relativo, pues en general la flecha con trascendencia estética es lo que pudiéramos llamar flecha óptica, es decir, la deformación más allá de la recta que une los apoyos. Esta flecha óptica es generalmente compensable con la adecuada contra flecha de encofrado.

Se presenta en cubiertas de muy escasa pendiente, que en su situación de proyecto, teóricamente recta, desaguan, pero que, sin embargo, con la flecha real forman superficies cóncavas que embalsan agua. El fenómeno es conocido como «Ponding», es decir, encharcamiento, en Patología.

Las vibraciones molestas para los usuarios o perjudiciales para los equipos, han recibido en los últimos años una atención importante. Desde luego, el problema realmente crítico hoy en día, es el *e*), es decir, el producido por la deformación de vigas, losas y forjados al poner en carga y fisurar partes no estructurales del edificio, generalmente cerramientos y tabiquerías. Los intentos de conseguir cerramientos de ladrillo flotantes, mediante enlaces especiales metálicos, aunque muy ingeniosos, no resultaron muy competitivos.

El problema es crítico en soluciones con entramados. La tipología estructural de edificios altos ha desarrollado otras soluciones más adecuadas. Véase el capítulo de Edificios de Gran Altura en la referencia. Debe ante todo señalarse que aunque éste problema es especialmente grave en España desde 1970 hasta hoy, ni es un problema exclusivamente español, ni es tan reciente como pudiera parecer. El estudio de RÜSCH^{xiv} realizado en los años 60 contenía ya casi mil referencias. Véase también^{xv}.

La actuación de las cargas, (de corta o larga duración), y otras acciones (tales como los asientos de apoyo, la retracción, la fluencia, las variaciones térmicas y las variaciones en contenido de humedad) provoca las correspondientes deformaciones

en los elementos estructurales.^{xvi} Por efecto de las mismas, los puntos de la directriz de cada una de las piezas experimentan movimientos que, en una estructura plana, pueden ser de tres tipos:

- un desplazamiento longitudinal en la dirección de la directriz (alargamiento o acortamiento);
- un desplazamiento transversal a la directriz (flecha);
- un giro (de la tangente a la directriz deformada).

De estas tres deformaciones la más importante es la flecha y, por ello, la comprobación del estado límite de deformación suele limitarse al cálculo de flechas.

4.2 EFECTOS DEBIDOS A FLECHAS EXCESIVAS.

Una flecha excesiva puede causar daños en estructuras anejas o en elementos no estructurales que se apoyen en la estructura flectada, cuando éstos no son capaces de acompañar el descenso de su elemento de apoyo sin fisurarse.^{xvii}

La falta de horizontalidad en un puente de carretera ó de ferrocarril puede provocar incomodidad al transitar a velocidad por él, no sólo al descender la viga en el centro de vano sino también al cambiar bruscamente de ángulo el enlace tablero-estribo a la entrada y a la salida.

La falta de horizontalidad de un forjado puede ocasionar incomodidad en el usuario, por ejemplo a la hora de colocar un mobiliario o al utilizar sillas con ruedas. En el límite, el buen servicio de una instalación, aparato o ingenio en general puede

quedar impedido, como es el caso de la rodadura de grandes muebles archivadores en bibliotecas ó laboratorios

La aparición de una flecha excesiva en una viga de edificación ó en un puente crea una sensación desagradable al observador.

4.3 TIPOS DE FLECHAS. EN ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN.

Los cálculos de deformaciones se efectúan a partir de los valores característicos de las acciones y de las resistencias de los materiales, puesto que se trata de conocer el comportamiento de la estructura en servicio. Por consiguiente, se considera en ellos $\gamma_f = \gamma_s = \gamma_c = 1$.

En cuanto a las hipótesis de carga, a diferencia de la comprobación de la fisuración, en la que se utilizan las combinaciones frecuentes o las cuasi permanentes, en la comprobación de las flechas se utiliza, salvo indicación en contrario, la combinación poco frecuente, es decir, aquella en la que interviene la carga total de servicio.

- **Flecha instantánea.** Es la ocasionada por la actuación de una carga en el instante de su aplicación, es decir, sin considerar efectos diferidos.
- **Flecha diferida.** Es la debida a la reología del hormigón, la flecha instantánea producida por una carga permanente aumentará con el paso del tiempo una cierta magnitud que se denomina flecha diferida originada por esa carga permanente. Las flechas diferidas dependen de la

magnitud de la carga permanente, del instante de aplicación de la carga y del tiempo durante el cual la carga está actuando sobre la estructura.

- **Flecha total a plazo infinito.** Es la flecha debida a la flecha instantánea más la diferida ocasionada por las cargas permanentes y cuasi permanentes³ a partir del momento de su aplicación.
- **Flecha activa.** Es la que se define con respecto a un elemento dañable (tabique, ventanal, etc.). Es la flecha producida a partir del momento en que se construye dicho elemento, el cual está sustentado por la (o sobre el cual apoya la) pieza estructural en cuestión. En conclusión, es la parte de flecha del elemento estructural que afecta a un elemento susceptible de dañarse. Su valor es igual a la flecha total a plazo infinito menos la existente en el momento en que se construye el elemento dañable.

El cálculo de las flechas en estructuras de hormigón depende en gran medida del tiempo durante el cual actúa la carga^{xviii} y de la edad del hormigón en el instante de su aplicación. En definitiva, depende del tiempo, cuya influencia es doble:

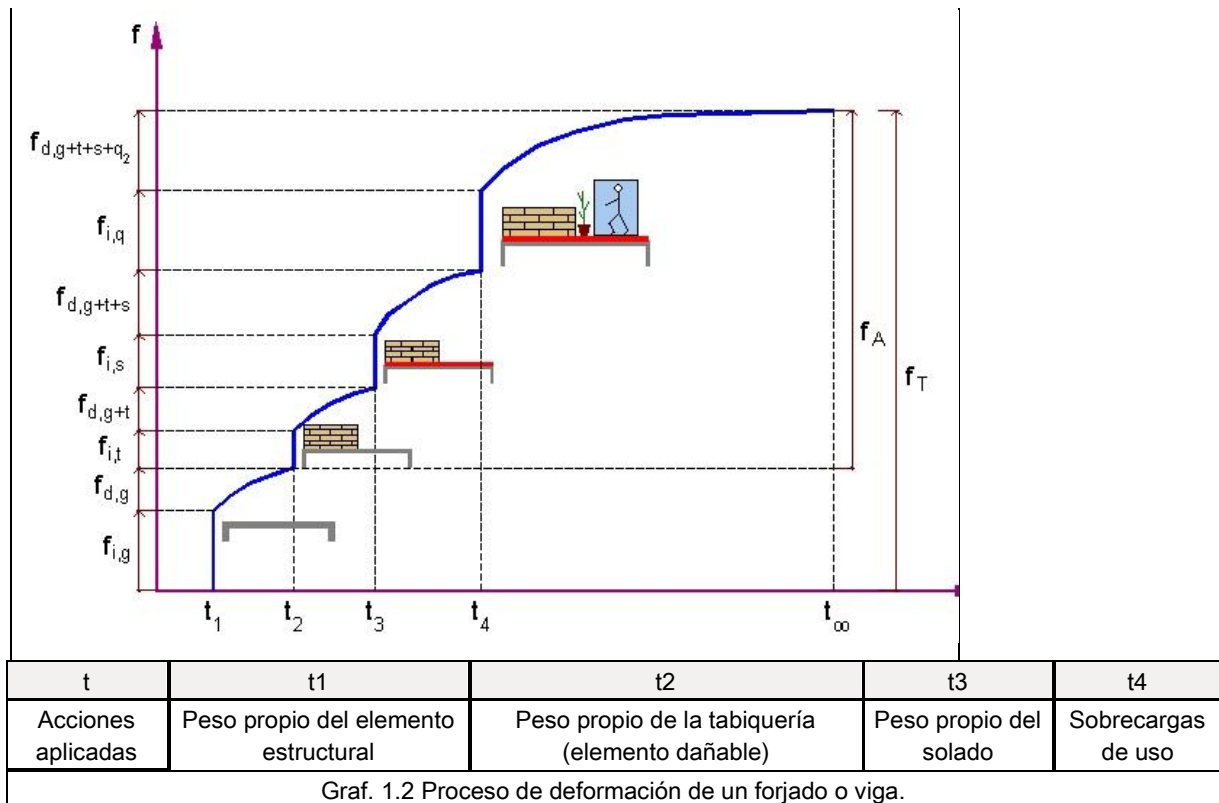
En primer lugar, porque el módulo de deformación del hormigón de la estructura aumenta con el tiempo, haciendo que la estructura sea más rígida (así por ejemplo, tomará más flecha instantánea una estructura cargada a los 14 días de edad que a los 90).

³ Cargas que se aplican durante un periodo de tiempo significativa en la vida útil de la edificación ejemplo la tabiquería.

En segundo lugar, la edad a la que se aplica la carga permanente influye en la fluencia provocada, lo que modifica la flecha diferida. Por tanto, el historial de cargas de una estructura es fundamental para poder determinar las flechas. En edificación esto supone un problema para el proyectista, ya que resulta complicado conocer a priori los tiempos de aplicación de las cargas y la correspondiente edad del hormigón.

En obra civil, aún siendo también complicado, la incertidumbre suele estar algo más acotada. Para evitar este tipo de imprecisiones, el mundo de la edificación ha consensuado tácitamente un historial tipo de cargas (Fig. 1.2) que permite comprobar el estado límite de deformaciones con una aproximación razonable a la realidad.

En la siguiente figura 1.2. se resume el proceso típico de deformación de un forjado o viga considerando el caso habitual de ejecución de obra, en el cual se construye primero la tabiquería y luego el solado. Además, se representa la flecha activa (f_A) y la total a plazo infinito (f_T):



Referencias:

- $f_{i,g}$: Flecha instantánea debida al peso propio del elemento estructural al descimbrarlo en el instante t_1 .
- $f_{d, g}$: Flecha diferida debida al peso propio del elemento estructural, desarrollada desde su descimbrado en el instante t_1 hasta la ejecución de la tabiquería en el instante t_2 .
- $f_{i, t}$: Flecha instantánea debida al peso propio de la tabiquería ejecutada en el instante t_2 .
- $f_{d, g} + t$: Flecha diferida debida al peso propio del elemento estructural y de la tabiquería desarrollada desde el instante de ejecución de la tabiquería t_2 hasta la construcción del solado en el instante t_3 .

- $f_{i, s}$: Flecha instantánea debida al peso propio del solado construido en el instante t_3 .
- $f_{d, g + t + s}$: Flecha diferida debida al peso propio del elemento estructural, de la tabiquería y del solado, desarrollada desde el instante t_3 de ejecución del solado hasta el tiempo t_4 de aplicación de la sobrecarga de uso.
- $f_{i, q}$: Flecha instantánea debida a las sobrecargas de uso aplicadas en el instante t_4 .
- $f_{d, g + t + s + q 2}$: Flecha diferida debida al peso propio del elemento estructural, de la tabiquería, del solado y del valor cuasi-permanente de la sobrecarga desarrollada desde el instante t_4 de actuación de la sobrecarga hasta el tiempo infinito t_{∞} .

4.4 OBTENCION DE LAS FLECHAS DEBIDAS A FLEXIÓN

Las flechas debidas a la flexión se obtienen por doble integración de las curvaturas. Las flechas debidas al esfuerzo cortante se obtienen por simple integración de las distorsiones. Afortunadamente, para los casos usuales existen métodos simplificados que permiten estimar las flechas con una adecuada aproximación.

4.4.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

Dos consideraciones han de tenerse en cuenta en el cálculo de flechas (INTEMAC, 2008)^{xix}.

1-Grupos de método de cálculo,

2-Comprobación de los cálculos con los límites establecidos con las normativas y relación con los elementos no estructurales

4.4.1.1 GRUPOS DE METODO DE CÁLCULO

- **Métodos de proyecto.** Son simples, de aplicación rápida, ausencia de estudio minucioso de condiciones higrotémicas, historial de curado, y ausencia de control de cargas.
- **Métodos de investigación.** Normales en la investigación experimental y en estudios de patología, además a éstos les ha sido de gran utilidad el desarrollo de aplicaciones informáticas adecuadas en este campo específico.

4.4.2 COMPROBACIÓN DE LOS CALCULOS CON LOS LÍMITES ESTABLECIDOS EN LAS NORMATIVAS Y RELACIÓN CON ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

Los métodos de cálculo deben de ser coherentes con los sistemas de limitación de flechas a los que van asociados. Los límites se fijan de forma empírica.

Ejemplo de ello son, el boletín del CEB,(FAVRE,1980)^{xx} el libro de Favre ó el de Branson (BRANSON,1968)^{xxi} .Estos no son de aplicación simple y van acompañados de valores de limitación de flechas para no producir daños a los elementos no estructurales.

La flecha es una variable aleatoria como la resistencia del hormigón; su conocimiento no es posible y, únicamente se pueden estimar con un nivel de fiabilidad.

El grado de humedad, el proceso constructivo, el tipo de árido son factores que afectan sustancialmente a las flechas y no son tenidas en cuenta en la elaboración del proyecto.

Las limitaciones como se ha dicho anteriormente establecidas en las normas se refieren a flechas de proyecto y no a las ocurridas en la estructura construida, que en la mayoría de los casos son de imposible averiguación.⁴

⁴ De dificultad importante debido al tiempo y coste para poder realizar esas comprobaciones.

4.4.3 EL VALOR DEL MOMENTO DE INERCIA

La formación de fisuras modifica sustancialmente el funcionamiento de la pieza, debido a que se produce una variación sustancial del momento de inercia, parámetro fundamental en el cálculo de las flechas.

Las fisuras en hormigón armado se pueden producir por causas diversas relacionadas, bien con las acciones directas (cargas) o indirectas (asiento de apoyos, temperatura y la retracción de secado, que se producen en el hormigón endurecido), bien por otras razones que, más que con el proyecto, tienen que ver con la ejecución de la estructura o con una dosificación inadecuada.

Pero la fisura que más nos preocupa es la formada en la fase de trabajo conjunto del hormigón y el acero que lo compone. Uno de los fenómenos que se producen es muy complejo, llamado rigidización, y va ligado a todas las variables que intervienen en la fisuración y la adherencia. En definitiva lo que nos influye es la pérdida de sección que se va a producir en un punto determinado de la pieza, que va a implicar a su vez una disminución en el momento de inercia y nace el concepto nuevo de **momento de inercia equivalente**,⁵ que considera todos los momentos de inercia que existan en la pieza. En esta línea ACI,(AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ,1989)^{xxii} con la inestimable colaboración de Branson y CEB^{xxiii} con Favre, llegan a estudios muy similares.

⁵ Es el valor numérico de una inercia que aplicada de forma constante a una viga de inercia variable, arroja el mismo resultado de flechas que si la viga fuese de inercia constante.

4.5 VALORES LÍMITES ADMISIBLES PARA LAS FLECHAS.

Las diversas normativas, con carácter general, limitan dos tipos de flechas la flecha activa, para garantizar la integridad de los elementos no estructurales que se apoyan sobre la estructura, la flecha total, por razones de funcionalidad y aspecto

Las limitaciones de flecha propuestas por las normativas no son más que una indicación de valores apropiados. Estas limitaciones deben entenderse como orientativas y no como límites estrictos e insuperables.

Los valores límite deben definirse en cada caso según las características particulares correspondientes, teniendo en cuenta, además, que el cálculo de flechas no puede hacerse de forma muy precisa, especialmente el de flechas diferidas, dado que en el fenómeno intervienen factores de difícil caracterización y de naturaleza aleatoria, como el historial de cargas, la retracción, la fluencia, la relación de sobrecarga a carga permanente y las condiciones de temperatura y humedad.

Casi todas las normas establecen valores límite en forma de relación flecha/luz (f/l), tanto para la flecha activa⁶ f_{act} como para la flecha total f_{tot} ⁷. En otras ocasiones se establecen límites absolutos a las flechas, lo cual penaliza a las estructuras de mayor luz, obligándolas, en comparación con estructuras de luces más pequeñas, a que sean mucho más rígidas. Estas limitaciones en valor absoluto suelen ser, a juicio de los autores, un tanto exageradas.

⁶ Flecha activa se entiende por flecha activa de un elemento no estructural en relación con otro no estructural, la flecha producida en el primero por la construcción del segundo.

⁷ Flecha total se define como la suma de las instantáneas más diferidas y activas.

4.5.1 FLECHAS MÁXIMAS RECOMENDADAS POR LA INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA

La Instrucción española de hormigón EHE-08 propone las siguientes limitaciones, no obligatorias:

$$f_{act} \leq l/400$$

$$f_{tot} \leq l/250 \nless l/500 + 1 \text{ cm}$$

Donde f_{act} es la flecha activa, l es la luz y f_{tot} es la flecha total.

En el caso de forjados unidireccionales la limitación de flecha activa se cambia por:

$$f_{act} \leq l/500 \nless l/1000 + 0,5 \text{ cm}$$

Y, en voladizos, l se toma como 1,6 veces el vuelo.

4.5.2 FLECHAS MÁXIMAS SEGÚN EL CTE (DOCUMENTO BÁSICO SEGURIDAD ESTRUCTURAL)

El Código Técnico de la Edificación CTE^{xxiv} limita la flecha activa a los siguientes valores:

$f_{act} \leq l/500$ cuando sobre el forjado reposan tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones o placas) o pavimentos rígidos sin juntas.

$f_{act} \leq l/400$ en forjados con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas

$f_{act} \leq l/300$ en el resto de los casos.

Y la flecha total a estos valores:

$f_{\text{tot}} \leq l/350$ cuando se tenga en cuenta la comodidad de los usuarios y teniendo en cuenta solo las flechas instantáneas, para cualquiera de las combinaciones relevantes de acciones.

$f_{\text{tot}} \leq l/300$ cuando se considere el aspecto de la obra y para la combinación cuasi permanente de acciones.

Si el elemento en el que se comprueba la flecha es unidireccional, la luz l es la distancia entre caras interiores de los dos pilares de ese tramo. Si el elemento que se comprueba es una losa o algún otro elemento bidireccional, se considerará como luz l la diagonal del recuadro estudiado.

4.5.3 FLECHAS MÁXIMAS SEGÚN EL EUROCÓDIGO DE HORMIGÓN

EC2

El Euro código de hormigón EC 2 limita las flechas a los siguientes valores:

$f_{\text{tot}} \leq l/250$ cuando se considere la apariencia de la obra y para la combinación cuasi permanente de acciones.

$f_{\text{act}} \leq l/500$ para la combinación cuasi permanente de acciones.

Cuando no se indica qué combinación de acciones hay que utilizar para comprobar la limitación de flecha máxima, corresponde al proyectista decidir la combinación que debe utilizar en cada caso particular, pudiendo diferir la respuesta de un técnico a otro. Así por ejemplo, si se trata de calcular la flecha activa en un forjado de edificación con la finalidad de que no resulte dañada la tabiquería, un determinado proyectista puede escoger la combinación frecuente y otro, menos

riguroso, la cuasi permanente. Pero si la flecha activa impide el buen servicio de la estructura, como puede ser el caso ya citado de una biblioteca con estanterías corredizas sobre raíles (cuyo movimiento resultaría imposibilitado si se produce una deformación excesiva del forjado) será pertinente utilizar la combinación poco frecuente. En la tabla 3.5 se presentan los distintos valores de todas las normas comparadas.

FLECHA	EHE-08	CTE	BAEL-83 (FRANCESA)		CP-110 (BRITAN.)	ACI (AMERIC.)	EC2 (EUROCOD.)
F. Activa	L/400	L/500	>5m L/500	<5m (L/1000)+0.5Cm	L/350 20 mm.	L/600 8 mm	L/500
F.Activa Tabiq.Sensible		L/500					
F.Activa Tabiq.Ordinar.		L/400				L/360	
F.Activa Forjados		L/500 (L/1000)+0.5 Cm				L/600 8 mm	
Flecha Total	L/250 (L/500)+1Cm	L/350 L/300	L/250				L/250

Tabla 3.5 Comparativo entre normas Españolas e Internacionales de Limitación de Flechas

Para terminar y como conclusión para prever los problemas, se puede decir que:

Siempre es aconsejable, para reducir flechas, no utilizar elementos muy esbeltos, colocar armadura de compresión, emplear hormigones de baja fluencia y retrasar lo más posible la aplicación de cargas permanentes al hormigón.

Para reducir flechas totales limitadas por razón del aspecto o la funcionalidad, se pueden utilizar contra flechas, si bien se recomienda no darles un valor mayor de $l/250$.

4.5.4 CALCULO DE LAS FLECHAS. CONSIDERACIONES GENERALES

(ART.50, EHE-08 Y DB-SE, CTE)

El estado límite de deformación es un estado de servicio que se satisface si los movimientos (flechas o giros) en la estructura son menores que unos valores límites máximos. El estudio de las deformaciones debe realizarse para las condiciones de servicio que correspondan, en función del problema a tratar, de acuerdo con los criterios de combinación de acciones indicadas en EHE (art.13.3).

Deben distinguirse entre la **flecha total** a plazo infinito (flecha instantánea producida por todas las cargas más flecha diferida debidas a las cargas permanentes y cuasi permanentes) y **flecha activa** respecto a un elemento dañable (flecha total menos la que ya se ha producido hasta el instante en que se construye el elemento). En la tabla 3.5.3 se presentan los distintos valores de las normas Españolas comparadas.

Consideraciones	Flecha	EHE, art. 50 Valores máximos admisibles	CTE DB SE 4.3.3. Valores máximos admisibles
General	Total	$\leq L/250$ y $L/500 + 1\text{cm}$	$\leq 1/500$ tabiques frágiles $\leq 1/400$ tabiques ordinarios/ pavimentos sin juntas $\leq 1/300$ resto de los casos
General	Activa	$\leq L/400$	
Forjados unidireccionales sustenten tabiques o muros	Total	$\leq L/250$ y $L/500 + 1\text{cm} (*)$	
Forjados unidireccionales sustenten tabiques o muros	Activa	$\leq L/500$ y $L/1000 + 0,5\text{ cm} (*)$	

Tabla 3.5.3 Comparativo entre nomas Españolas de Limitación de Flechas

Siendo L la longitud del elemento que se comprueba.

(*) En la tabla anterior, en voladizos de forjados unidireccionales se tomará $L = 1.6 L$ voladizo.

En CTE se limitan los **desplazamientos horizontales** a 1/500 de la altura total del edificio y 1/250 de la altura entre plantas. También aparecen limitaciones de flecha según otras consideraciones especiales. (S.E. Artículo 4.3.3)

4.5.4.1 ESBELTECES MÁXIMAS

No será necesario la comprobación de flechas cuando la relación **luz/canto útil** (**L/d**) del elemento estudiado sea igual o inferior a los valores indicados en la tabla siguiente:

SISTEMA ESTRUCTURAL	ELEMENTOS FUERTEMENTE ARMADOS (vigas) [$\rho = (A_s / b_o d) = 0.015$]	ELEMENTOS DÉBILMENTE ARMADOS (losas) [$\rho = (A_s / b_o d) = 0.005$]
Viga simplemente apoyada Losa uni o bidireccional simplemente apoyada	14	20
Viga continua ¹ en un extremo Losa unidireccional continua ^{1,2} en un solo lado	18	26
Viga continua ¹ en ambos extremos Losa uni o bidireccional continua ^{1,2}	20	30
Recuadros exteriores y de esquina en losa sobre apoyos aislados ³	16	23
Recuadros interiores en losa sobre apoyos aislados ³	17	24
Voladizo	6	8

Tabla 3.5.3.1 Limitación de flecha por esbeltez

¹ Un extremo se considera continuo si el momento correspondiente es $\geq 85\%$ del momento de empotramiento perfecto

² En losas unidireccionales, las esbelteces dadas se refieren a la luz menor

³ En losas sobre apoyos aislados (pilares), las esbelteces dadas se refieren a la luz mayor

La tabla 3.5.3.1 corresponde a elementos armados con acero B500S. Los valores de la tabla podrían corregirse para otros casos multiplicándolos por la expresión $(500 / f_{yk}) \cdot (A_{s, \text{real}} / A_{s, \text{necesaria}})$. **EHE art. 50.2.2.1**. En éste mismo artículo existen expresiones genéricas para el cálculo de la esbeltez máxima L/d, y coeficientes correctores para vigas y losas aligeradas con sección en T.

En el caso de forjados de viguetas con luces menores que 7 m y de losas alveolares pretensadas con luces menores de 12 m, y sobrecargas no mayores a 4 KN/m² no es necesario comprobar flecha si el canto total es mayor que el canto mínimo dado por: $h_{\min} \geq \delta_1 \delta_2 L / C$ siendo: $\delta_1 = (q/7)^{0.5}$; $\delta_2 = (L/6)^{0.25}$; L = luz del forjado en m; C = coeficiente tabla 50.2.2.1.b:

		Aislado	Extremo	Interior
Viguetas armadas	Tabiques o muros Cubiertas	17 /20	21/ 24	24/ 27
Viguetas pretensadas	Tabiques o muros Cubiertas	19/ 22	23 /26	26 //29
Losas alveolares pretensadas*	Tabiques o muros Cubiertas	36/ 45	-	-

Tabla 3.5.3.2 limitacion por esbeltez según EHE

* Piezas pretensadas proyectadas de forma que en la combinación poco frecuente no llegue a superarse el momento de fisuración

4.5.4.2 MÉTODO SIMPLIFICADO PARA EL CÁLCULO DE LA FLECHA

La flecha se considera compuesta por la suma de la flecha instantánea y la flecha diferida debida a las cargas permanentes.

4.5.4.3 CÁLCULO DE LA FLECHA INSTANTÁNEA

Para el cálculo de flechas instantáneas en elementos fisurados de sección constante, y a falta de métodos más rigurosos, se podrá usar el siguiente método simplificado:

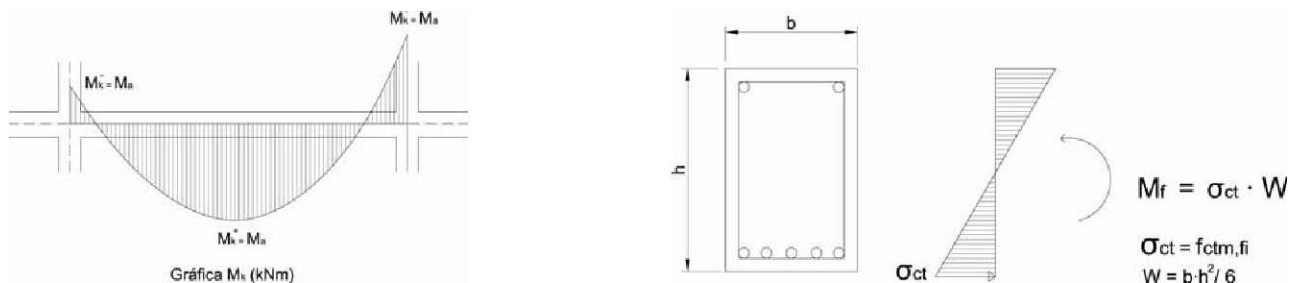
Se define como momento de inercia equivalente de una sección de hormigón armado el valor I_e dado por:

$$I_e = (M_f / M_a)^3 I_b + [1 - (M_f / M_a)^3] I_f \leq I_b$$

Donde:

M_a momento flector máximo aplicado a la sección hasta el instante en que se evalúa la flecha M_f momento nominal de fisuración de la sección que se calcula

mediante la expresión: $M_r = f_{ctm,fi} W f_{ctm,fi}$ resistencia media a flexo tracción del hormigón
(EHE, art. 39.1): $f_{ctm,fi} = \max [(1,6 - h/1000) f_{ct,m}; f_{ct,m}] f_{ct,m}$ resistencia media a tracción del
hormigón: $f_{ct,m} = 0.30 f_{ck}^{0.66}$ para $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ W_b módulo resistente de la sección bruta
respecto a la fibra extrema en tracción I_b momento de inercia de la sección bruta I_f
momento de inercia de la sección fisurada en flexión simple, que se obtiene
despreciando la zona de hormigón en tracción y homogeneizando las áreas de las
armaduras multiplicándolas por el coeficiente de equivalencia ($n = E_s / E_c$)



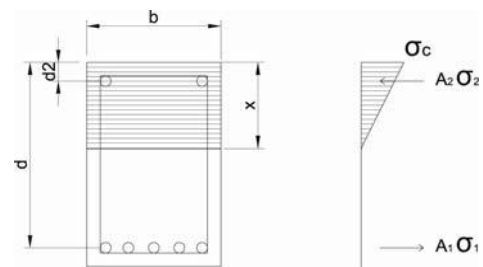
Nota: SECCIÓN FISURADA (Cálculo de la profundidad de la fibra neutra "x" y del momento de inercia "I_r")

SECCIÓN RECTANGULAR

$$x = [n/b] \left[-(A_1 + A_2) + \left[(A_1 + A_2)^2 + (2b/n)(A_2 d_2 + A_1 d) \right]^{0.5} \right]$$

$$I_r = (b x^3 / 3) + n A_1 (d - x)^2 + n A_2 (x - d_2)^2$$

SECCIÓN EN T (Consultar EHE Anejo 8)



La flecha máxima de un elemento puede obtenerse mediante las fórmulas de la Resistencia de Materiales, adoptando como módulo de deformación longitudinal secante E_c (EHE, art.39.6): $E_c = 8500 (f_{ck} + 8)^{1/3}$ y como momento de inercia constante para toda la pieza el que corresponde a la sección de referencia:

a) En elementos simplemente apoyados la sección central b) En elementos en voladizo la sección de arranque c) En vanos intermedios de elementos continuos $I_e = 0,5 I_{ec} + 0,25 I_{ee1} + 0,25 I_{ee2}$ d) En vanos extremos con continuidad solo en un apoyo $I_e = 0,75 I_{ec} + 0,25 I_{ee}$

Siendo: I_{ec} = Inercia equivalente de la sección en el centro del vano; I_{ee} = Inercia equivalente de la sección en los apoyos

4.5.4.4 CÁLCULO DE LA FLECHA DIFERIDA

Las flechas adicionales diferidas, producidas por las cargas de larga duración, resultantes de las deformaciones por fluencia y retracción, se pueden estimar multiplicando la flecha instantánea correspondiente por el factor

$$\lambda = \xi / (1 + 50 \rho')$$

donde:

ρ' cuantía geométrica de la armadura de compresión $\rho' = A_s' / (b_o d)$
 A_s' , referida al área de la sección útil, en la sección de referencia
 ξ coeficiente función de la duración de la carga que se toma de los valores indicados en la tabla 3.5.3.1.4 se presenta los parámetros que intervienen en la estimación de la flecha diferida según la EHE-08.

Edad del hormigón	ξ	Edad del hormigón	ξ
≥ 5 años	2.0	3 meses	1.0
1 año	1.4	1 mes	0.7
6 meses	1.2	2 semanas	0.5

Tabla 3.5.3.1.4 limitacion por esbelted según EHE

Siendo j la edad del hormigón en el instante de la aplicación de la carga y t la edad del hormigón en el instante de evaluación de la flecha: $\xi = \xi_t - \xi_j$

En el caso de que la carga se aplique por fracciones $P_1, P_2, P_3...$ se puede adoptar: $\xi = \xi_1 P_1 + \xi_2 P_2 + \xi_3 P_3 \dots$

5 PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

Con el fin de cumplir el primer objetivo de este trabajo de investigación, analizar la evolución de las normativas referentes al hormigón armado en España, se realizará un análisis comparado de las normativas EH, EHE desde el año 1968 hasta 2008 con ello se buscará las variaciones en los parámetros intervinientes en el cálculo de las deformaciones por flecha y que sean relevantes en los resultados obtenidos para dichos cálculos.

Para alcanzar el segundo objetivo, las posibles patologías en las estructuras de hormigón debidas a deformaciones excesivas, utilizaremos la información obtenida en el objetivo primero y una vez organizada se realizarán diferentes cálculos de comprobación sobre un pórtico real de hormigón.

Se utilizarán para dicha tarea tres métodos de cálculo de comprobación.

1. Método manual simple. Basada en una hoja de calculo
2. Método Teórico. Usando el Programa de Calavera.

En el método manual simple Se realizarán cálculos de comprobación de flechas con la ayuda de un programa diseñado por el autor del trabajo de investigación, con una hoja de cálculo (Excel) dotada con formulas Matemáticas, variables y parámetros capaces de computar todas las variables y parámetros que son necesarios al día de hoy y sobre la normativa actualizada es decir con la EHE-08 y al mismo tiempo las variables y parámetros comunes en las normativas anteriores estudiadas. Los cálculos sirven para comprobar la posible variación de

resultados obtenidos y las consecuencias posibles en las estructuras de hormigón en cuestión de deformación por flecha excesiva.

En El método Teórico se apoya sobre el programa llamada cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado desarrollado por D. José Calavera Ruiz incluido en el libro del mismo nombre^{xxv}. Este programa destaca por sus método que tiene en cuenta las distintas fases en la construcción de la estructura del edificio en el estudio d las deformaciones excesivas.

6 DESARROLLO DEL TRABAJO

En este capítulo se realiza un estudio analítico comparado de las normas y en segunda instancia una comprobación por métodos empíricos matemáticos e informáticos con diferentes herramientas informáticas para comprobar la dispersión de los resultados en función de los mismos parámetros de distintas normas españolas y de factores no tenidos en cuenta en algunas de estas normas.

6.1 NORMAS PARA EL CÁLCULO DE DEFORMACIÓN POR FLECHA

- Normas internacionales
- Normas nacionales

6.1.1 NORMAS INTERNACIONALES OBJETO DE ANÁLISIS.

Análisis comparado de normas internacionales de diseño de flechas.

Las normas internacionales serán objeto de un análisis comparado en el que se contemplan el estudio de las deformaciones por flecha y serán objeto de un análisis comparado con las normas Españolas EHE-08 y CTE son:

1. Norma Americana ACI
2. Norma Francesa Bael-83
3. Norma Británica CP-110
4. Norma Euro código EC-2

El objeto de incorporar las normas españolas y su análisis comparativo con las normas (1, 2 , 3, 4) es obtener y demostrar el grado de restricción de las normas

Españolas en comparación, con otras normas internacionales así identificar la norma más restrictiva referente a las deformaciones por exceso de flecha.

Todas las normas elegidas tienen por objeto prevenir los problemas que aparecen en las construcciones debido a las flechas excesivas y que se producen cuando se sobre pasan determinados límites.

El origen del incremento de dichas flechas excesivas se deben principalmente a:^{xxvi}

1. El aumento de las luces en proyecto.
2. La utilización de aceros de alta resistencia.
3. El cambio en la metodología de cálculo, utilizando el método de los estados limites.
4. La reducción de los coeficientes de seguridad.

En general todas estas normas toman como referencia, unas en mayor medida que otros dos parámetros (tabla 5.1.a):

1. La limitación de la flecha
2. La limitación de la esbeltez (relación luz canto)

Para ello en este estudio utilizamos la tabla (5.1.a) en la cual se ha estudiado los límites de las flechas utilizada por las normas objeto de estudio.

FLECHA	EHE-08	CTE	BAEL-83 (FRANCESA)		CP-110 (BRITAN.)	ACI (AMERIC.)	EC2 (EUROCOD.)
F. Activa	L/400	L/500	>5m L/500	<5m (L/1000)+0.5Cm			L/500
F.Activa Tabiq.Sensible		L/500			L/350 20 mm.	L/600 6,1 mm	
F.Activa Tabiq.Ordinar.		L/400				L/360	
F.Activa Forjados	L/500 (L/1000)+0.5 Cm					L/600 6.1 mm	
Flecha	L/250	L/350	L/250				L/250
Total	(L/500)+1Cm	L/300					

Tabla 5.1a Esbeltez utilizada por las normas nacionales e Internacionales para limitar flecha

En esta tabla 5.1a se puede observar el control de las flechas limitando la flecha de los elementos estructurales, en función de la luz y en valores absolutos, que se han ido desarrollando y perfeccionando a lo largo del tiempo.

Se observa en este cuadro que una de las normas más restrictivas es la norma ACI Americana, puesto que además de limitar la esbeltez limita a un valor concreto el valor de la flecha máxima.

Si se observa la deformación de un elemento aplicándole una limitación de esbeltez, se puede observar que con la misma limitación proporciona valores diferentes debidos, a que se incrementa la luz, el problema se origina si ese valor obtenido es tolerable ó no, dependerá de varios parámetros:

1. Del tipo de elemento constructivo.
2. De la posición del elemento constructivo.

3. De la condiciones de apoyo
4. Del tipo de elemento soportado.
5. Susceptibles de sufrir daños ó no
6. Del tipo de acero.
7. Del tipo de hormigón

Esta recopilación de factores queda recogida en la siguiente tabla 5.1b

CONDICIONES		EHE-08	CTE	BAEL-83 (FRANCESA)	CP-110 (BRITAN.)	ACI (AMERIC.)	EC2 (EUROCOD.)
TIPO DE ELEMENTO	VIGA	X	X		X		X
	PLACA	X	X		X		
CONDICION DE EXTREMO	APOYADO	X	X	X	X	X	X
	CONTINUA	X	X	X	X	X	X
	VOLADIZO	X	X	X	X	X	X
		X	X	X	X	X	X
ELEMENTO SOPORTADO	CON TABIQUES				X	X	X
	SIN TABIQUES				X	X	X
TIPO DE HORMIGON	NORMAL	X	X	X	X	X	X
	LIGERO					X	
TIPO DE ACERO	AEH-500	X	X		X		X
	AEH-400				X		X

Tabla 5.1b Factores modificadores de flecha de las Normas Nacionales e internacionales

6.1.2 NORMAS NACIONALES OBJETO DE ANÁLISIS

1. Norma Española EH-68
2. Norma Española EH-82
3. Norma Española EH-88
4. Norma Española EH-91
5. Norma Española EHE-00
6. Norma Española EHE-08.

6.1.3 NORMAS ESPAÑOLAS ANTECEDENTES.

La normativa española que aborda el estudio del hormigón y las flechas debidas a la deformación en los elementos estructurales, está contenida en las EH y en las EHE respectivamente.

Estas normas han sufrido una evolución y transformación a lo largo del tiempo a medida que se realizaron análisis de los resultados que se fueron obteniendo en su aplicación.

La base de las transformaciones y evoluciones en estas, básicamente están reflejado en una serie de factores que se enumeran a continuación:

1. La deformación longitudinal para cargas instantáneas
2. La deformación longitudinal para cargas permanentes o duraderas.

3. La deformación debida a la retracción.
4. La deformación debida a la fluencia.
5. El cálculo de las flechas. Métodos

6.1.3.1 LAS DEFORMACIONES LONGITUDINALES PARA CARGAS INSTANTANEAS Y PERMANENTES Ó DURADERAS.

Los valores que adoptan para estimar la deformación longitudinal en una sección de hormigón, se han ido, paulatinamente reduciendo su valor, para así ser más restrictivo su aplicación y sus resultados.

Otro factor a tener en cuenta en la obtención de los valores de la deformación ha sido la relación^{xxvii} que hacen determinadas normas de este análisis, entre la deformación longitudinal para cargas instantáneas y cargas duraderas, basando la obtención de resultados de la segunda en los datos de la primera es decir de la deformación longitudinal para cargas instantáneas.

En la tabla 5.1.3a se reflejan los valores de la E'_b en las distintas normativas que han sido objeto de estudio.

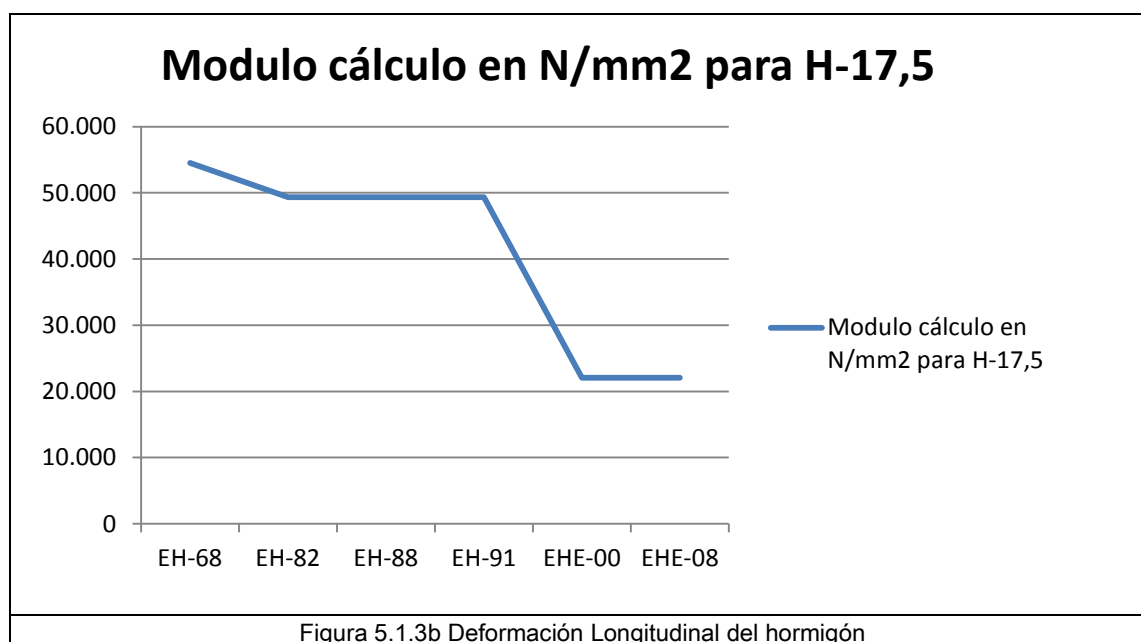
	EH-68	EH-82	EH-88	EH-91	EH-00	EH-08
DEFORMACIÓN LONGITUDINAL CARGAS INSTANTANEAS	$E'_b=21.000 \sqrt{fck}$ de servicio 0,3	$E'_b=19.000 \sqrt{fck}$ de servicio 0,3	$E'_b=19.000 \sqrt{fck}$ de servicio 0,3	$E'_b=8.500 \sqrt[3]{fcm, j}$ de servicio 0,3 A j DIAS	$E'_b=8.500 \sqrt[3]{fcm, j}$ de servicio 0,45 EL ARIDO LA EDAD NO INFORMA	$E'_b=8.500 \sqrt[3]{fcm, j}$ de servicio 0,45 EL ARIDO LA EDAD NO INFORMA
DEFORMACIÓN LONGITUDINAL CARGAS DURADERAS	$E'_b=21.000 \sqrt{fck}$ de servicio 0.3 CLIMAS HUMEDOS	2/3 DE INST CL. HUMEDO 2/5 DE CL.SECO ERROR	2/3 DE INST CL. HUMEDO 2/5 DE CL.SECO ERROR	NO INFORMA	NO INFORMA	NO INFORMA

Tabla 5.1.3a Deformación longitudinal para cargas instantáneas , Cargas duraderas

En la figura 5.1.3b se puede apreciar la deformación longitudinal para cargas instantáneas que se produce al utilizar un mismo tipo de hormigón un H-175 ó lo que podría referenciarse actualmente HA-17,5, para el módulo de deformación longitudinal de normativas de fecha diferente.

Normas	Coef. Parcial	Modulo calculado (N/mm2)
EH-68	21.000	277.830
EH-82	19.000	251.370
EH-88	19.000	251.370
EH-91	19.000	251.370
EHE-00	8.500	47.430
EHE-08	8.500	47.430

Tabla 5.1.3b Deformación Longitudinal

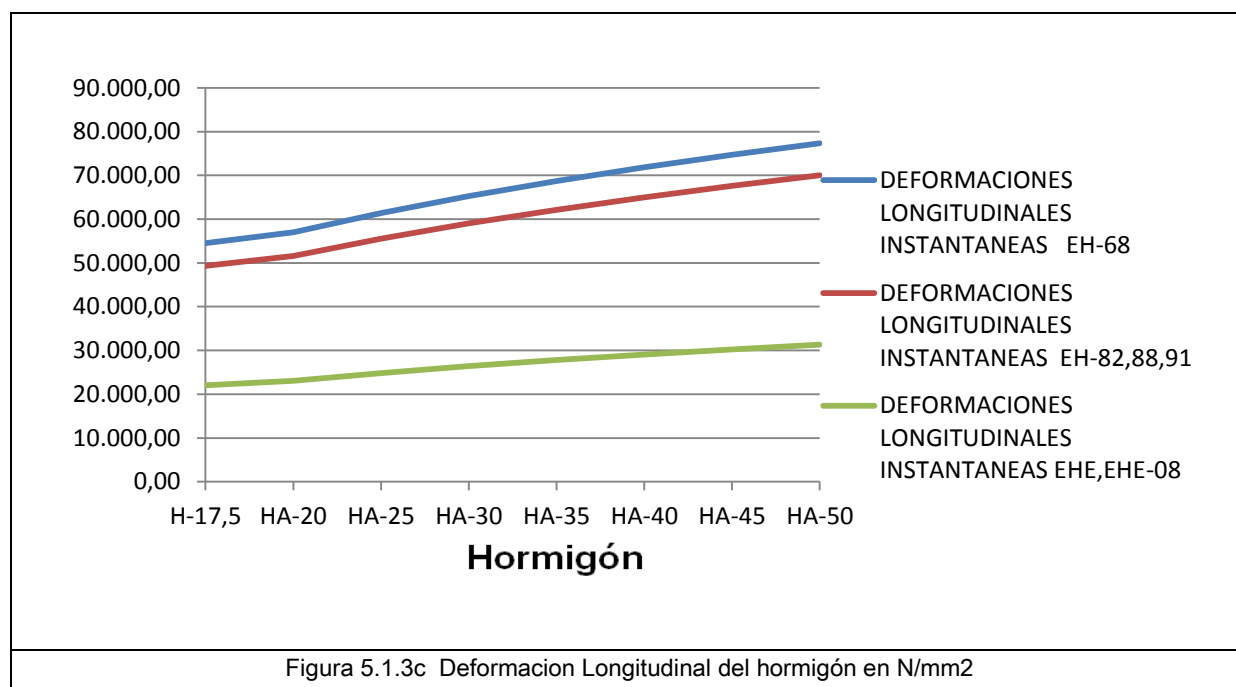


Es posible constatar que la deformación permitida en la EH-68, EH-82 es de seis veces mayor a la actual EHE-08, este resultado demuestra el incremento de

seguridad que se produce en el periodo actual comparado con los anteriores a EHE Y EHE-08 (ver tabla 5.1.3c y figura 5.1.3c) respectivamente.

DEFORMACIONES LONGITUDINALES INSTANTANEAS			
Hormigón	EH-68	EH-82,88,91	EHE,EHE-08
H-17,5	54.521,19	49.328,69	22.068,10
HA-20	57.002,77	51.573,93	23.072,55
HA-25	61.404,37	55.556,34	24.854,15
HA-30	65.251,88	59.037,42	26.411,48
HA-35	68.692,39	62.150,26	27.804,06
HA-40	71.818,99	64.979,09	29.069,59
HA-45	74.694,76	67.580,97	30.233,59
HA-50	77.364,66	69.996,60	31.314,27

Tabla 5.1.3c Deformacion Longitudinal del hormigón en N/mm2



En cuanto a la deformación longitudinal para cargas duraderas, se observa en la tabla anterior 5.1.3a que algunas normativas (EH-82, EH-88, EH-91) la calculan a partir de la deformación longitudinal para cargas instantáneas, y las otras normas analizadas (EHE, EHE-08) tan siquiera tienen en cuenta el cálculo de esta deformación.

En el análisis de esta deformación también se aprecia y manifiesta la reducción del coeficiente de deformación a lo largo del periodo de estudio de las normas. Ver tabla 5.1.3d.

Normas	Coef. Parcial	Modulo calculado (N/mm2)
EH-68	21.000	54.521,19
EH-82	19.000	49.328,69
EH-88	19.000	49.328,69
EH-91	19.000	49.328,69
EHE-00	8.500	22.068,10
EHE-08	8.500	22.068,10

Tabla 5.1.3d Cuadro comparativo módulo de deformación del hormigón para un hormigón h-17,5 N/mm2

De los datos representados en la tabla 5.1.3d se observa la reducción en un 41% del valor de la deformación longitudinal. para cargas duraderas en ambiente seco.

6.1.3.2 DEFORMACIÓN DEBIDA A LA RETRACCIÓN.

La deformación debida a la retracción y a la fluencia van a conformar lo que muchos autores denominan flecha diferida, la cual aquí se estudia de forma independiente y la evolución de su estimación en las respectivas normativas españolas(EH,1998)^{xxviii}.

La EH-68 realiza un estudio muy somero de la Retracción del hormigón simplemente dando unos valores y no teniendo en cuenta tan si quiera el tipo de hormigón, fijando un valor fijo de deformación por ml (E_r).

$$E_r=0,00025 \Rightarrow \frac{1}{4} \text{ de Milímetro por M. Lineal de Pieza}$$

Se tiene en cuenta factores como:

1. Coeficiente que depende la humedad.
2. Coeficiente que depende espesor ficticio de la pieza.
3. Coeficiente de la tabla refleja la evolución con el tiempo.

La EH-82 a diferencia de la EH-68 si tiene en cuenta el tipo de hormigón además de reducir los valores de la E_r .

También recomienda la no consideración de la deformación por retracción cuando el elemento está sumergido en agua.

- EH-82 hormigón en masa $E_r=0.35$ Milímetro por M. Lineal de Pieza.

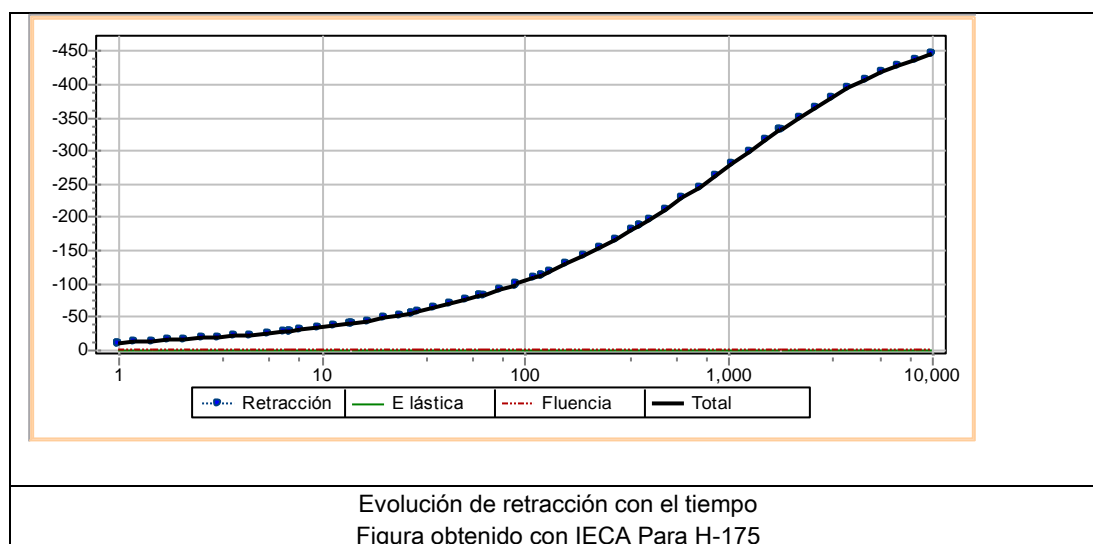
- EH-82 hormigón armado $E_r=0.25$ Milímetro por M. Lineal de Pieza
 1. Coeficiente que depende la humedad.
 2. Coeficiente que depende espesor ficticio de la pieza
 3. Coeficiente de tabla refleja evolución de la retracción con el tiempo.
 4. Coeficiente que de la composición del hormigón (desaparece en EH-82).
 5. Coeficiente cuantía geométrica longitudinal de la pieza/sección de hormigón (desaparece en EH-82).
 6. Coeficiente de tabla refleja evolución de la retracción con el tiempo.

La EH-88 en su estudio de la deformación por retracción es similar a su antecesora la EH-82 salvo que proporciona los datos en forma de ábaco para una mejor representación relacionando los parámetros siguientes y en la tabla 5.1.3.2ª.

1. Ambiente
2. Humedad relativa
3. Espesor ficticio de la pieza
4. El medio en el que se encuentra
5. Aire
6. Agua
7. Atmosfera húmeda.

Ambiente	Humedad relativa	Coef, humedad ambiente	Coef. Espesor ficticio
En el agua	100	$+10 \times 10^{-5}$	30
En la atmósfera muy húmeda	90	-13×10^{-5}	5
En ambiente Medio	70	-32×10^{-5}	1.5
En Atmósfera	40	-52×10^{-5}	1.0

Tabla 5.2.1.2a Relación de factores y valores modificativos de la retracción



En La **EHE** la retracción del hormigón respecto a las normas anteriores analizadas, experimenta un cambio importante matizando más profundamente los valores de la retracción con el uso de tablas más específica en función de la humedad, siendo más amplio los datos suministrado y consecuentemente más acertado el cálculo. Los valores utilizados son:

1. Edad del hormigón en el instante de la evaluación.

2. Edad del hormigón en el comienzo de la retracción.
3. Coeficiente básico de retracción.
4. Espesor medio en milímetros.
5. Humedad relativa en %

La EHE-08 además de lo estudiado en la norma anterior, la EHE, contempla directamente el cálculo de las flechas diferidas originadas por la retracción y fluencia.

$\lambda = \xi / (1 + 50\rho')$ donde:

ρ' cuantía geométrica de la armadura de compresión $\rho' = A_s' / (b_o d)$
 A_s' , referida al área de la sección útil, en la sección de referencia
 ξ coeficiente función de la duración de la carga que se toma de los valores indicados en la tabla 3.2.1.2.b.

Edad del hormigón	ξ	Edad del hormigón	ξ
≥ 5 años	2.0	3 meses	1.0
1 año	1.4	1 mes	0.7
6 meses	1.2	2 semanas	0.5

Tabla 5.2.1.2.b ξ Coeficiente en función de la duración de la carga

Siendo j la edad del hormigón en el instante de la aplicación de la carga y t la edad del hormigón en el instante de evaluación de la flecha: $\xi = \xi_t - \xi_j$

Parámetros	EH-68	EH-82	EH-88	EH-91	EH-00	EH-08
Humedad	x	x	x		x	x
Espesor pieza	x	x	x			
Evolución del tiempo		x	x		x	x
Sumergido en agua		x	x			
Compos. hormigón		x	x			
Cuantías geométricas		x	x		x	x
Tablas		x				
Abacos			x			
Tipo ambiente			x		x	x
Evolución con el tiempo	x	x	x		x	x
Er	x	x	x			
Duración de la carga			x		x	x

Tabla 5.1.3.2.b Parámetros influyentes en la Deformación por retracción en las EH Y EHE

En el caso de que la carga se aplique por fracciones $P_1, P_2, P_3...$ se puede adoptar: $\xi = \xi_1 P_1 + \xi_2 P_2 + \xi_3 P_3...$

A continuación se muestra cuadro comparativo Tabla 5.13.2b o entre las distintas normas españolas y los parámetros intervinientes para la estimación de la deformación por retracción.

6.1.3.3 DEFORMACIÓN DEBIDA A LA FLUENCIA.

Engloba bajo este tipo de deformación todas las deformaciones diferidas, elásticas y plásticas que dependen de la tensión.

Deformaciones	Dependientes de la tensión		Independientes de la tensión
	Instantáneas	Diferidas(fluencia)	
Reversibles	Elásticas	Elásticas diferidas	Termohigrométricas
Ireversibles	Remanentes	Plásticas diferidas	Retracción

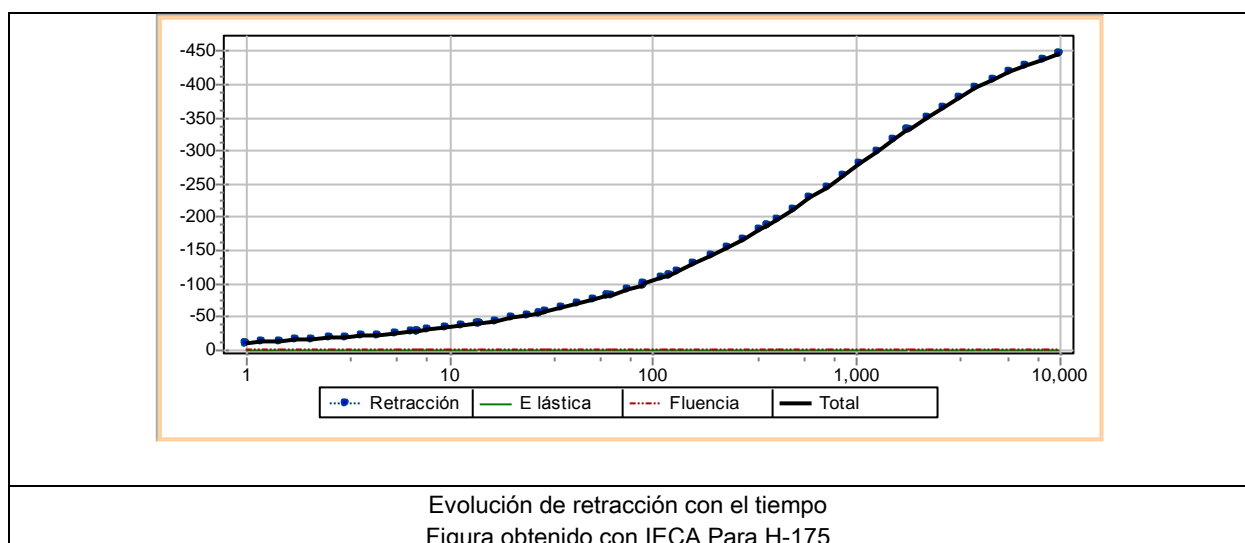
Tabla 5.1.3.3 Deformaciones por fluencia

La EH-68 define y relaciona la deformación por fluencia proporcionalmente a la deformación elástica calculada a partir de la deformación longitudinal del hormigón, teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. El grado de humedad ambiente.
2. La edad del hormigón.
3. La edad del hormigón en el momento de su entrada en carga.
4. El tiempo transcurrido.

La EHE Y EHE-08 la deformación es dependiente de la tensión en un instante t , para una tensión constante $\alpha(t, t_0)$, menor que $0,40 f_{cm}$ aplicada en t_0 . Las formulas. (1)

$$\epsilon_{c\delta}(t, t_0) = \delta(t_0) [1/E_{ct0} + \theta(t, t_0)/E_{c28}] \quad (1)$$



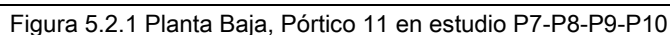
6.2 ESTUDIO EMPIRICO DE LAS NORMAS QUE CONTEMPLAN LA DEFORMACIÓN POR FLECHA

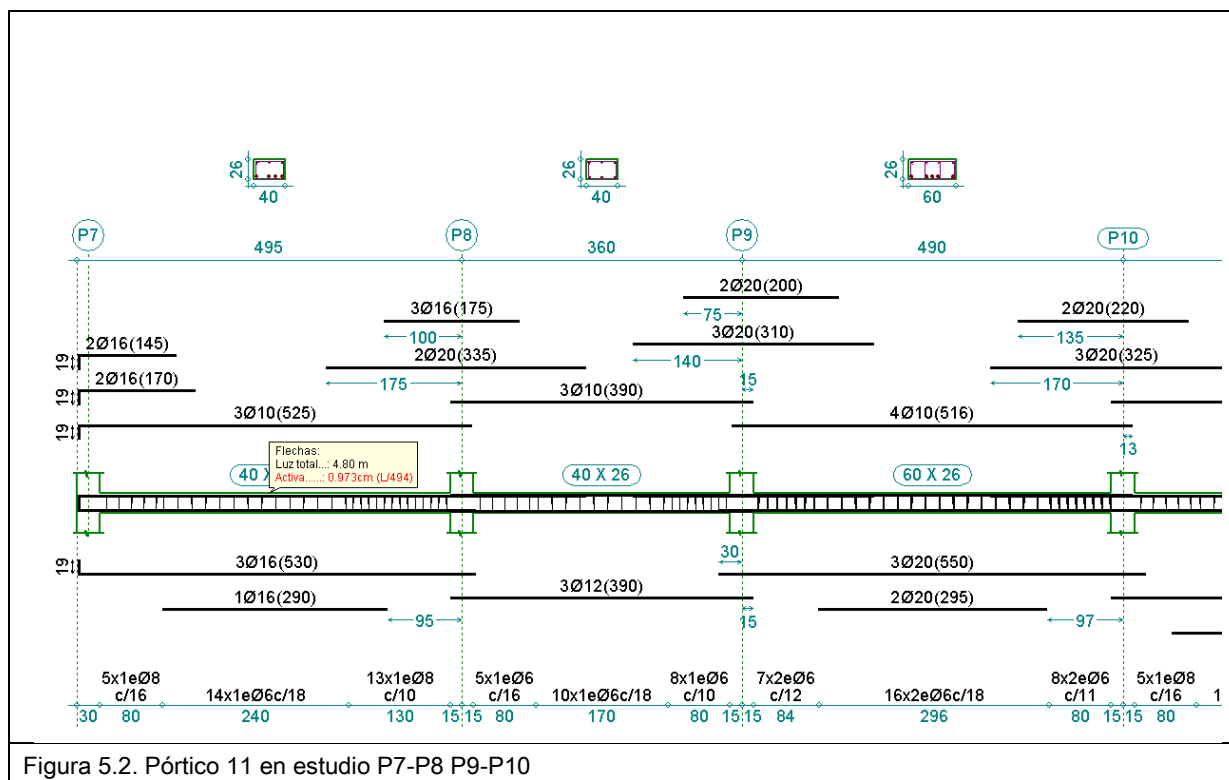
Para constatar la dispersión y diferencias de datos que se obtienen al analizar un pórtico de hormigón dependiendo de una norma EH ó con otra como la EHE EHE-08 más moderna, y mostrar que los resultados obtenidos de ambos cálculos son sustancialmente diferentes. Analizaremos el mismo pórtico de hormigón con las mismas cargas de servicio y las mismas secciones de hormigón pero con distintas normas españolas.

El primer análisis se realizará sobre el cálculo realizado con una hoja de cálculo Excel diseñada y realizada por el autor de este trabajo, y así comparar los resultados obtenidos y su repercusión en la deformación por flecha del pórtico analizado.

En esta hoja de cálculo se va a utilizar los parámetros comunes que utilizaban la norma española EH-91 y los que utiliza la EHE-08, pero con los valores que indicaban en su caso cada una de ellas.

Descripción del pórtico de hormigón objeto de estudio común por los tres métodos. El pórtico denominado pórtico nº 13 está ubicado en la planta baja, zona izquierda, de un edificio de viviendas (ver figura 5.2.1) plurifamiliar el cual está constituido por seis plantas iguales sobre rasante. Se elige este pórtico de toda la planta por ser en él donde se manifiestan tanto en suelo como en paredes mayor número de fisuras y grietas, debidas teóricamente a un exceso de deformación por flecha.





Se ha elegido esta estructura por ser un caso real de demanda contra el proyectista y la dirección de obra debido a la parición de las fisuras y grietas anteriormente mencionadas y adelanto que tanto el proyectista como los directores de obras y constructor fueron condenados en sentencia firme a una condena pecuniaria con un montante de 400.000 €.

Se va a analizar los dos tramos (tramo P7-P8, P9-P10), en teoría más deformables que componen el pórtico tomando como datos para dicho análisis tanta las cargas de servicio, momentos de servicio, secciones de hormigón real ejecutadas en cada tramo y su armado.

B) Datos de cálculo comunes

1-TIPO DE FORJADO

Nombre	Descripción
F26	<p>FORJADO DE SEMIVIGUETAS</p> <p>Canto de bovedilla: 22 cm.</p> <p>Espesor capa compresión: 4 cm.</p> <p>Intereje: 70 cm.</p> <p>Bovedilla: Hormigón</p> <p>Ancho del nervio: 10 cm.</p> <p>Volumen de hormigón: 0.0819 m3/m2</p> <p>Peso propio: 0.31 TN/m2</p> <p>Incremento del ancho del nervio: 3 cm.</p> <p>Comprobación de flecha: Como vigueta armada</p>

2-CARGAS DE SERVICIO

DATOS DE LOS TRAMOS

P8-P9 y

Nombre de la planta	S.C.U (TN/m2)	Cargas muertas (TN/m2)
TECHO PL-6ª	0.20	0.165
SUELO PL-6ª	0.20	0.165
SUELO PL-5ª	0.20	0.165
SUELO PL-4ª	0.20	0.165
SUELO PL-3ª	0.20	0.165
SUELO PL-2ª	0.20	0.165
SUELO BAJA	0.20	0.165
Cimentación	0.00	0.165

P9-P10

Elemento	Posición	Acero	Fyk (Kp/cm2)	γs
Pilares y pantallas	Barras(verticales)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Estribos(Horizontales)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
Vigas	Negativos(superior)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Positivos(inferior)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Montaje(superior)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Piel(lateral)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Estribos	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
Forjados	Punzonamiento	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Negativos(superior)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Positivos(inferior)	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Nervios negativos	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15
	Nervios positivos	AEH-500 , Control Normal	5100	1.15

Tabla 5.3 Comprobacion de cargas de servicio									
VIGA Nº	TRAMO	GEOMETRIA CM	LUZ DE FORJADO m	SOBRECARGA DE USO (KN/m2)	CARGA MUERTA (KN/m2)	PESO PROPIO FORJ. (KN/m2)	CARGA TOTAL (KN/ml)	Ppo Viga (KN/ml)	CARGA TOTAL (KN/ml)
9 Long.	TRAMO P7-P8 4,95	40X26	7	1,96	1,5	3,1	45,92	26	71,92
12 Long.	TRAMO P8-P9 3,6	40X26	7	1,96	1,5	3,1	45,92	26	71,92
13 Long.	TRAMO P8-P9 4,9	60X26	7	1,96	1,5	3,1	45,92	39	84,92

Primer análisis. Comprobación EH-91, HA-17.5

Primera comprobación. Tramo P7-P8

Se realizará mediante una hoja de cálculo diseñada para este trabajo de investigación por el autor, utilizando las cargas de servicio, los momentos últimos y la secciones de cálculo tanto de hormigón como de acero, se introducen y procesan estos datos comprobando los resultados obtenidos de la deformación en primer lugar con los parámetros de la norma EH-91 que fueron con los que se cálculo la estructura que se está analizando con matices en los factores intervinientes (ver tabla 5.2.1, ver anexo de cálculo).

Hormigón H-175 o HA-17,5

Coeficiente del Modulo de deformación transversal 8.500, dado que este valor es el utilizado por la EHE-08

Tiempos de obtención y entrada de cargas a las dos semanas.

VIGA P7-P9 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,el}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	24991,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	8,00
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_f (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	1,42E+08						ρ_a	0,00187
x (mm)	60,71							
I_e (mm ⁴)	1,45E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	71,26	P.PROPIO	32,58	32,58				
RESTO CP	15,69	RESTO DE CP	7,17					
CV	20,50	TOTAL DIFERIDA	39,76					
TOTAL INSTANTTÁNEA	107,44	FLECHA TOTAL	147,20	103,85	43,36			
L/#	46,07	L/#	33,63	47,67	114,17			
		ξ_s (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_s (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		107,44	46,07					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		147,20	33,63					
FLECHA ACTIVA		43,36	114,17					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.1 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EHE-08)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

Segunda comprobación. Tramo P7-P8

La segunda comprobación que se realizará con los mismos momentos últimos y la secciones de cálculo tanto de hormigón como de acero, modificando el modulo de deformación del hormigón a valor de la EH-91 (ver tabla 5.2.2) (En anexo de cálculo).

Hormigón H-175

Coeficiente Modulo de deformación transversal 19.000, dado que este valor es el utilizado por la EH-91

Tiempos de obtención y entrada de cargas a las dos semanas.

Tercera comprobación. Tramo P7-P8

La tercera comprobación que se realiza con los mismos momentos últimos y la secciones de cálculo tanto de hormigón como de acero, modificando el modulo de deformación del hormigón a valor de la EH-68 (ver tabla 5.2.3,ver anexo de cálculo).

Hormigón H-175

Coeficiente Modulo de deformación transversal 21.000, dado que este valor es el utilizado por la EH-68

Tiempos de obtención y entrada de cargas a las dos semanas.

Conclusiones del primer análisis.

En estos cálculos con los distintos valores para la deformación longitudinal del hormigón para cargas instantáneas y a la edad de 2 semanas se observa:

Que las flechas **instantáneas** que se han ido obteniendo han ido aumentando en torno a un 20% desde la norma EH-68 a la EH-82, EH-81, EH-91 y otro 20% de estas a la EHE Y EHE-08 actuales. (ver tabla y gráfico 5.2.4)

Si consideramos que la limitación vigente según CTE para el caso de pisos con tabiques frágiles es de $l/500$

La luz de la estructura analizada luz es de $495/500 = 10$ mm.

Si consideramos que la limitación vigente según EHE-08 para el caso de edificaciones normales es de $l/400$

La luz es de $495/400 = 12.4$ mm.

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA	LIMITACION EHE-08	LIMITACION CTE	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10,7	12.4	10	NO
EH-91	8,99	12.4	10	SI
EH-68	8.82	12.4	10	SI

Tabla 5.2.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 7-8-9

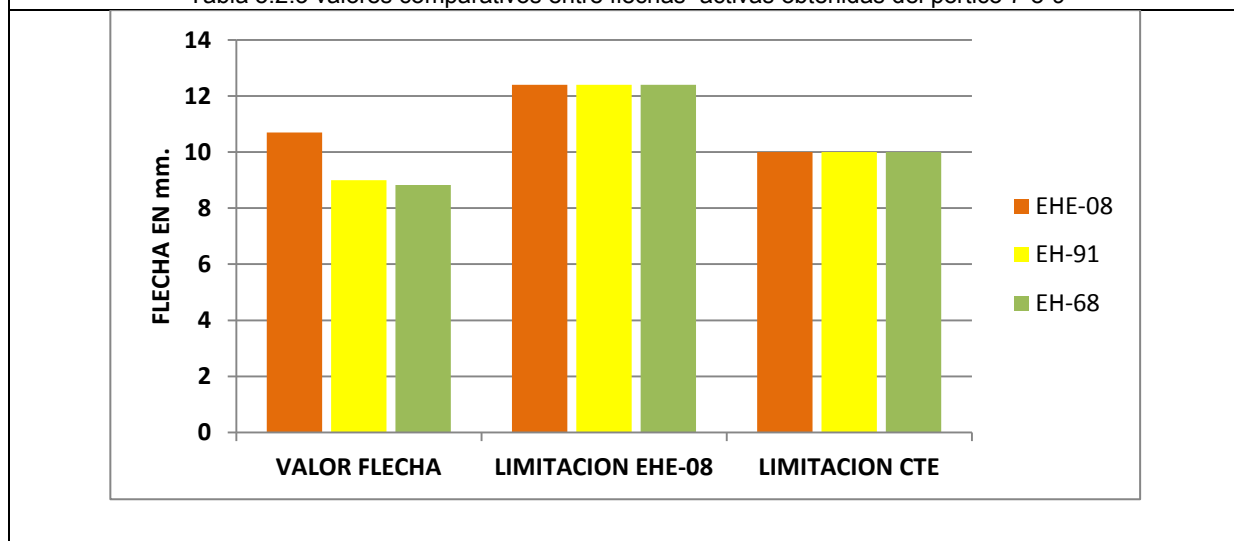


Figura 5.2.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P7-P8

Segundo análisis. Comprobación HA-17.5 y HA-25

Primera comprobación. Tramo P7-P8

En primera comprobación se altera el valor de la fck utilizando el valor de un H-175 o lo que podría ser un HA-17,5 para la EH-91 y un HA-25 para la EHE-08, para comprobar si se manifiesta la variación en el valor de la flecha instantánea calculada. (ver tabla 5.2.4 y 5.2.5, ver anexo de cálculo).

El proceso de comparación se realizará de dos en dos es decir, se obtendrán los valores de la flecha para un hormigón tipo HA-25 y otro HA-17.5 con coeficiente de modulo de 8500, posteriormente se repite la operación pero modificando el coeficiente del modulo a 19.000 (ver tabla 5.2.6 y 5.2.7, anexo de cálculo). y por último a 21.000 (ver tabla 5.2.8 y 5.2.9, ver anexo de cálculo).

Segunda comprobación. Tramo P7-P8

En la segunda comprobación se modifica el valor de la fck utilizando el valor de un H-175 o lo que podría ser un HA-17,5 para la EH-91 y un HA-25 para la EHE-08 y un coeficiente del modulo de deformación de 19.000. (ver tabla 5.2.6 y 5.2.7, ver anexo de cálculo).

Tercera comprobación. Tramo P7-P8

En la tercera comprobación se modifica el valor de la fck utilizando el valor de un H-175 o lo que podría ser un HA-17,5 para la EH-91 y un HA-25 para la EHE-08 y un coeficiente del modulo de deformación de 21.000 (ver tabla 5.2.8 y 5.2.9, ver anexo de cálculo).

Conclusiones del segundo análisis.

Una vez obtenidos los valores de los cálculos realizados se comprueba la baja influencia que produce el utilizar un hormigón de HA-30 N/mm² respecto a un H-175, suponiendo una disminución de la flecha entorno al 2%.

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 17,5	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 30	MINORACION DE FLECHA	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10,50	10,25	-2%	SI
EH-91	9,00	8,30	-2%	SI
EH-68	8,88	8,05	-2%	SI

Tabla 5.2.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P7-P8 en mm.

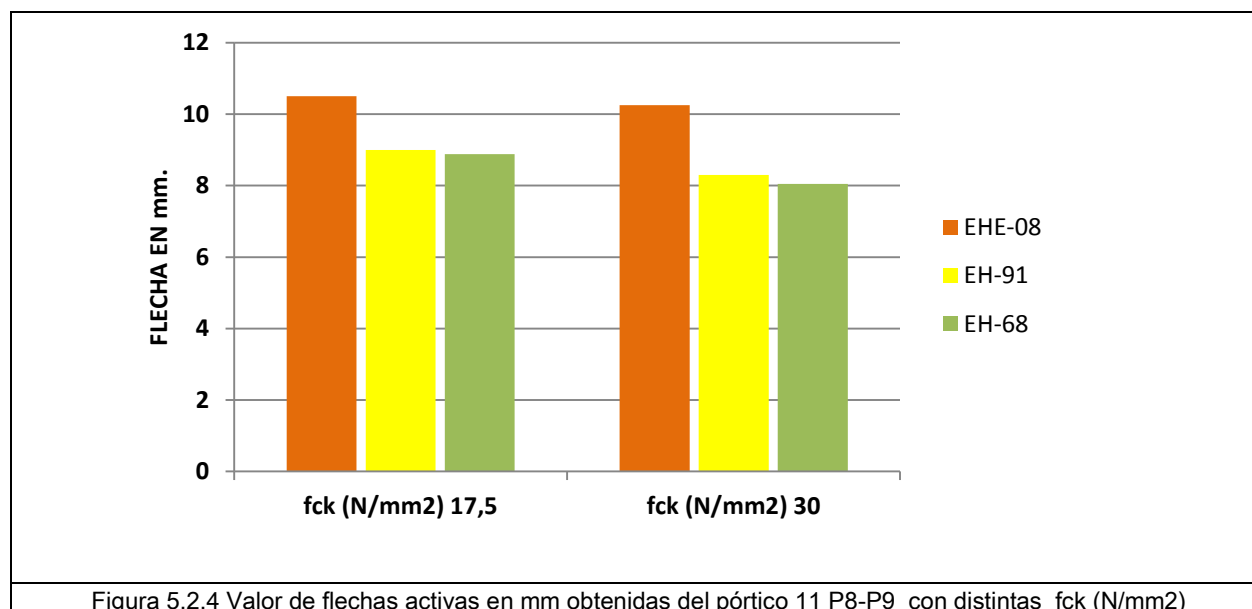


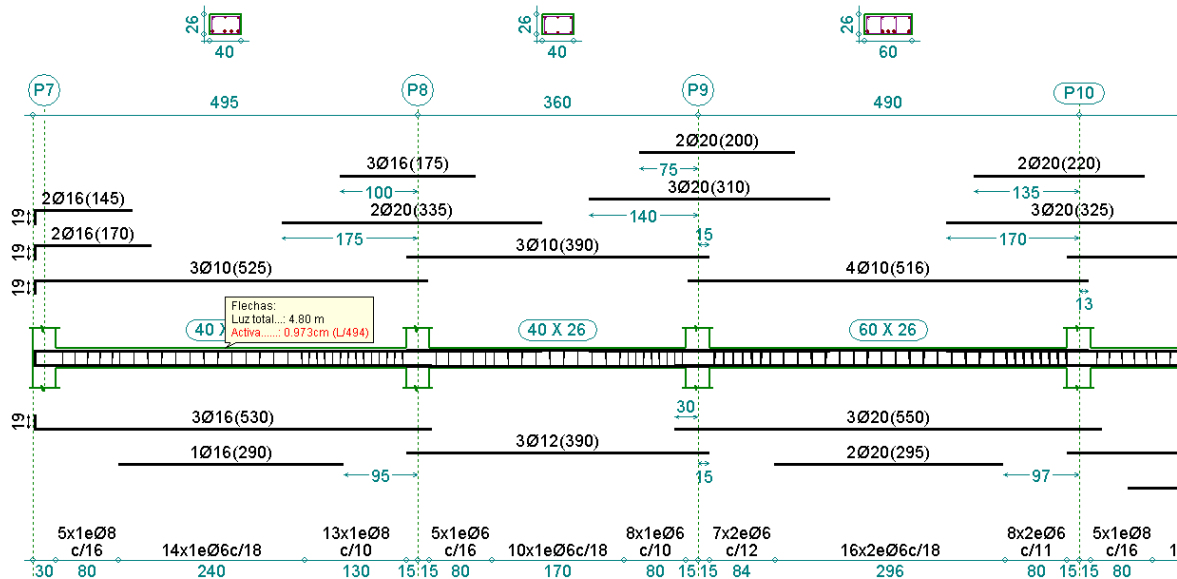
Figura 5.2.4 Valor de flechas activas en mm obtenidas del pórtico 11 P8-P9 con distintas fck (N/mm²)

Tercer análisis. Comprobación EH-91, HA-17.5

Tramo P9-P10

Se repite los análisis anteriores realizados en el tramo P8-P9 en el tramo P9-

P10



Primera, segunda y tercera comprobación. Tramo P9-P10

Hormigón H-175

Coeficiente Modulo de deformación transversal 8.500, 19000, 21000 (ver tabla

5.2.10, 5.2.11, 5.2.13, ver anexo de cálculo).

Tiempos de obtención y entrada de cargas a las dos semanas.

Conclusiones del tercer análisis.

En estos cálculos con los distintos valores para la deformación longitudinal del hormigón para cargas instantáneas y a la edad de 2 semanas se puede observar que las flechas **instantáneas** que se han ido obteniendo han ido aumentando en torno a un 20% desde la norma EH-68 a la EH-82, EH-81, EH-91 y otro 20% de estas a la EHE Y EHE-08 actuales.

Si consideramos que la limitación vigente según CTE para el caso de pisos con tabiques frágiles es de $l/500$

Nuestra luz es de $490/500 = 9,8$ mm.

Si se considera que la limitación vigente según EHE-08 para el caso de edificaciones normales es de $l/400$

Nuestra luz es de $490/400 = 12.3$ mm.

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA	LIMITACION EHE-08	LIMITACION CTE	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10.90	12.3	9,8	NO
EH-91	9,02	12.3	9,8	SI
EH-68	8.69	12.3	9,8	SI

Tabla 5.2.14 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 9-10 HA-17.5

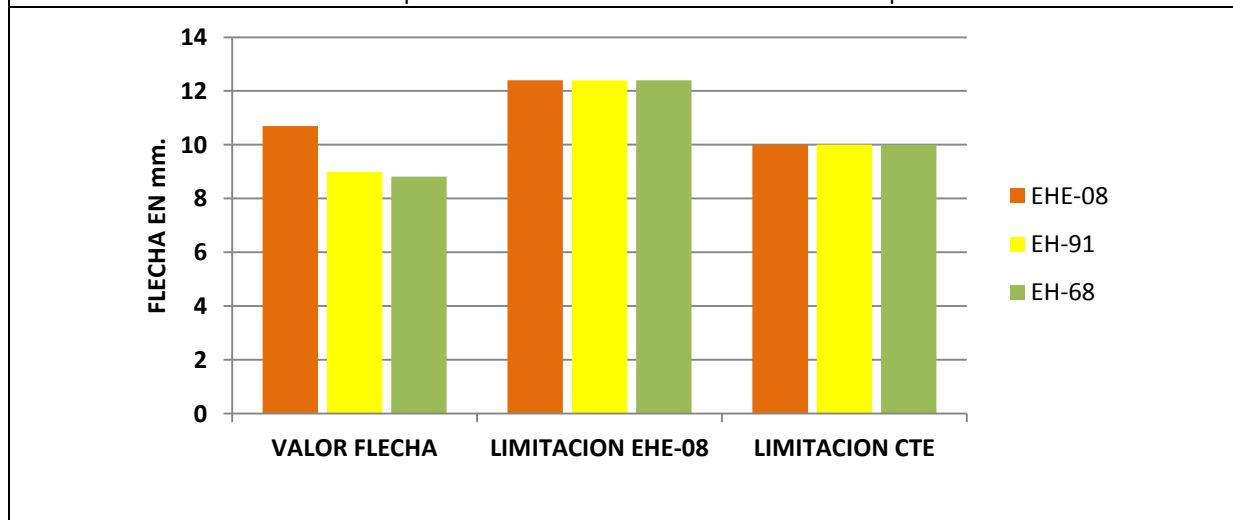


Figura 5.2.14 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P9-P10

Se puede observar que la flecha calculada con los parámetros de deformabilidad del hormigón según EHE-08 está fuera de norma tanto por limitación en CTE.

Cuarto análisis. Comprobación HA-17.5 y HA-25

Tramo P9-P10

Primera comprobación. Tramo P9-P10

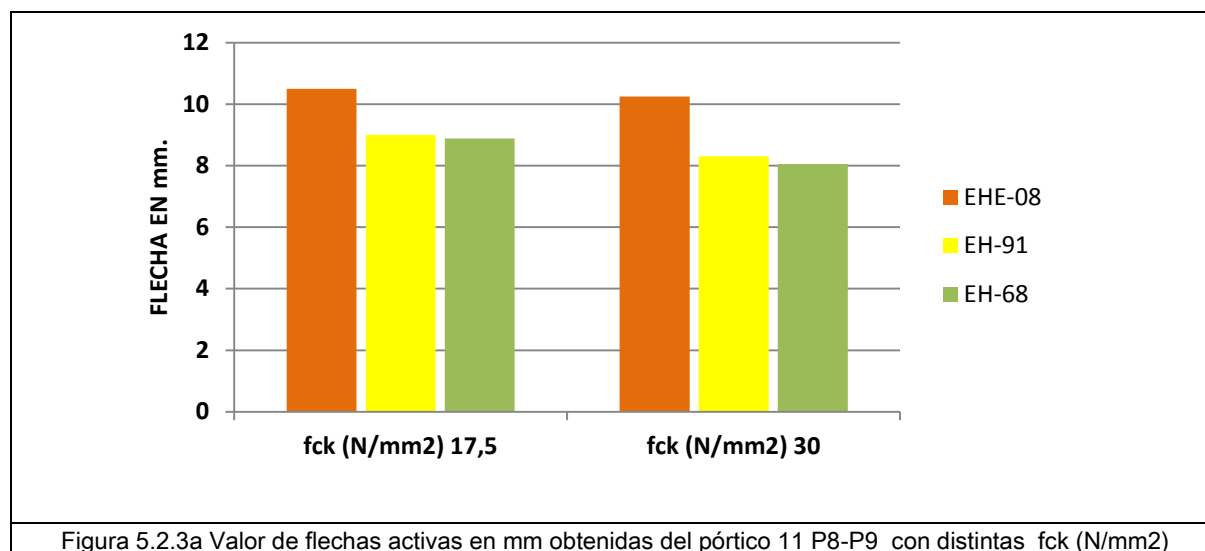
En primera comprobación se altera el valor de la f_{ck} utilizando el valor de un H-175 o lo que podría ser un HA-17,5 para la EH-91 y un HA-25 para la EHE-08, para comprobar si se manifiesta la variación en el valor de la flecha instantánea calculada. (Ver tabla 5.2.4 y 5.2.5, ver anexo de cálculo).

El proceso de comparación se realizará de dos en dos es decir, se obtendrán los valores de la flecha para un hormigón tipo HA-25 y otro HA-17.5 con coeficiente de modulo de 8500, posteriormente se repite la operación pero modificando el coeficiente del modulo a 19.000 (ver tabla 5.2.6 y 5.2.7, anexo de cálculo). y por último a 21.000 (ver tabla 5.2.8 y 5.2.9, ver anexo de cálculo).

Conclusiones del cuarto análisis.

Una vez obtenidos los valores de los cálculos realizados se comprueba la baja influencia que produce el utilizar un hormigón de HA-30 N/mm² respecto a un H-175, suponiendo una disminución de la flecha entorno al 1.5%.(Tabla 5.2.3^a y Figura 5.2.3^a)

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 17,5	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 30	MINORACION DE FLECHA	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10.9	76.84	-2%	SI
EH-91	8,6	8,30	-1%	SI
EH-68	8,01	8,06	-1%	SI
Tabla 5.2.3a valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P8-P9 en mm.				



6.2.2 MÉTODO TEÓRICO.SEGÚN CALAVERA

Como ya se hizo referencia en el apartado de metodología el siguiente método está basado en el desarrollo informático desarrollado por D. José Calavera de cálculo de flechas en estructuras de hormigón 2009^{xxix}. En este método se tiene en cuenta el factor de descimbrado actualizado

En esta parte experimental se intenta utilizar los mismos factores que en el método personal, de este se intenta obtener valores con el mismo rango de veracidad, bien es cierto que con esta aplicación se diferencia más los estadios de tiempo entre descimbrado y carga de tabiquería intentando no obstante que la edad de entrada de la cargas sean los mismos valores que en el método personal y con la aplicación de la EHE-08 es decir de 14 días.

Datos de cálculo para el supuesto 1º tramo 9-10

-CARGAS-

Carga nº	Fecha (días)	Q(KN/m)	Comentario
1	10	122,00	Cimbrado
2	14	8,00	Tabiquería / cerramiento
3	48	2,00	Solado
4	360	14,00	Sobrecarga
5	360	14,00	Retirada sobrecarga
6	1000	14,00	Sobrecarga a t=infinito

Tabla 5.2.2 Cargas utilizadas para las comprobaciones

Notas:

q es la carga uniformemente repartida

Nº de carga seleccionado a efectos de cálculo de la flecha activa: 2

Kdorsal : 1,700 Kfrontal: 1,700

MATERIALES, TEMPERATURA Y HUMEDAD

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Módulo de deformación del acero: 200000 N/mm^2

Cemento de endurecimiento normal

T^a media ($^{\circ}\text{C}$): 20.0 Humedad relativa media (%): 40.0 Espesor ficticio (mm): 150.0

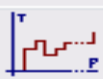
<div style="text-align: center;">  Historia de cargas estándar </div>						
Nº	Fecha (días)	q (kN/m)	(1)	(2)	P (kN)	comentario
1	10	122,00	Sí	Sí	0,00	Cimbrado
2	14	8,00	Sí	Sí	0,00	Tabiquería / cerramiento
3	48	2,00	Sí	Sí	0,00	Solado
4	360	14,00	Sí	Sí	0,00	Sobrecarga
5	360	-14,00	Sí	Sí	0,00	Retirada sobrecarga
6	10000	14,00	Sí	Sí	0,00	Sobrecarga a t=infinito

Tabla 6.2.1 valores de inicios de carga

Resultados

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE FLECHAS

Método de cálculo: EHE-08

Punto de cálculo: $x=2,50 \text{ m}$ (desde el extremo dorsal del vano)

FLECHAS TOTALES A LOS 10000 DÍAS

FI es la suma de las flechas instantáneas debidas a todas las cargas.
FD es la suma de las flechas diferidas debidas a todas las cargas.
FT es la suma de las flechas instantáneas y diferidas debidas a todas las cargas.
FACT es la flecha activa. En caso de no existir tabiquería, no debe considerarse este valor.
LIM es la luz dividida entre la flecha activa.

t	FI	FD	FT	FACT	LIM
(días)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
10000	50,40	67,15	117,55	70,54	70,9

FLECHAS TOTALES EN TODOS LOS INSTANTES DE CÁLCULO

FI es la suma de las flechas instantáneas debidas a todas las cargas.
FD es la suma de las flechas diferidas debidas a todas las cargas.
FTotal es la suma de las flechas instantáneas y diferidas debidas a todas las cargas.

t	FI	FD	FTotal
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	42,58	0,00	42,58
14	45,33	4,44	49,76
48	45,99	16,42	62,41
360	45,99	41,77	87,76
10000	50,40	67,15	117,55

FLECHAS DEBIDAS A CADA UNA DE LAS CARGAS

Fli es la flecha instantánea debida a la carga nº i
FDi es la flecha diferida debida a la carga nº i
FTi es la suma de las flechas instantánea y diferida de la carga i

FLECHA DEBIDA A LA CARGA Nº 1

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	42,58	0,00	42,58
14	42,58	4,44	47,02
48	42,58	15,69	58,27
360	42,58	39,16	81,74
10000	42,58	62,66	105,25

FLECHA DEBIDA A LA CARGA Nº 2

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	2,75	0,00	2,75
48	2,75	0,73	3,47
360	2,75	2,24	4,99
10000	2,75	3,76	6,51

FLECHA DEBIDA A LA CARGA Nº 3

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,66	0,00	0,66
360	0,66	0,36	1,02
10000	0,66	0,73	1,39

FLECHA DEBIDA A LA CARGA Nº 4

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	4,49	0,00	4,49
10000	4,49	2,48	6,97

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 5

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	-4,49	0,00	-4,49
10000	-4,49	-2,48	-6,97

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 6

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00
10000	4,41	0,00	4,41

Datos de cálculo para el supuesto 2º 9-10

-CARGAS-

Carga nº	Fecha(días)	Q(KN/m)	Comentario
1	10	122,00	Cimbrado
2	14	8,00	Tabiquería / cerramiento
3	48	2,00	Solado
4	360	14,00	Sobrecarga
5	360	14,00	Retirada sobrecarga
6	1000	14,00	Sobrecarga a t=infinito
Cargas utilizadas para las comprobaciones			

Notas:

q es la carga uniformemente repartida

Nº de carga seleccionado a efectos de cálculo de la flecha activa: 2

Kdorsal : 1,700 Kfrontal: 1,700

MATERIALES, TEMPERATURA Y HUMEDAD

fck = 17.5 MPa

Módulo de deformación del acero: 200000 N/mm²

Cemento de endurecimiento normal

Tª media (°C): 20.0 Humedad relativa media (%): 40.0 Espesor ficticio (mm):

150.0

Resultados

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE FLECHAS

Método de cálculo: EH-91

Punto de cálculo: $x=2,50$ m (desde el extremo dorsal del vano)

FLECHAS TOTALES A LOS 10000 DÍAS

FI es la suma de las flechas instantáneas debidas a todas las cargas.
FD es la suma de las flechas diferidas debidas a todas las cargas.
FT es la suma de las flechas instantáneas y diferidas debidas a todas las cargas.
FACT es la flecha activa. En caso de no existir tabiquería, no debe considerarse este valor.
LIM es la luz dividida entre la flecha activa.

t	FI	FD	FT	FACT	LIM
(días)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
10000	53,90	71,78	125,68	75,43	66,3

FLECHAS TOTALES EN TODOS LOS INSTANTES DE CÁLCULO

FI es la suma de las flechas instantáneas debidas a todas las cargas.
FD es la suma de las flechas diferidas debidas a todas las cargas.
FTotal es la suma de las flechas instantáneas y diferidas debidas a todas las cargas.

t	FI	FD	FTotal
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	45,51	0,00	45,51
14	48,45	4,74	53,19
48	49,16	17,55	66,71
360	49,16	44,64	93,80
10000	53,90	71,78	125,68

FLECHAS DEBIDAS A CADA UNA DE LAS CARGAS

Fli es la flecha instantánea debida a la carga nº i
FDi es la flecha diferida debida a la carga nº i
FTi es la suma de las flechas instantánea y diferida de la carga i

FLECHA DEBIDA A LA CARGA Nº 1

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	45,51	0,00	45,51
14	45,51	4,74	50,25
48	45,51	16,77	62,28
360	45,51	41,85	87,36
10000	45,51	66,97	112,48

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 2

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	2,94	0,00	2,94
48	2,94	0,78	3,72
360	2,94	2,40	5,34
10000	2,94	4,03	6,97

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 3

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,71	0,00	0,71
360	0,71	0,39	1,10
10000	0,71	0,78	1,49

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 4

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	4,81	0,00	4,81
10000	4,81	2,66	7,47

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 5

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	-4,81	0,00	-4,81
10000	-4,81	-2,66	-7,47

FLECHA DEBIDA A LA CARGA N° 6

t	Fli	FDi	FTi
(días)	(mm)	(mm)	(mm)
10	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00
10000	4,74	0,00	4,74

Luz de la viga es de $490/400 = 12.3$ mm.

Conclusiones del análisis del supuesto 1º y 2º del tramo P9-P10

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA	LIMITACION EHE-08	LIMITACION CTE	CUMPLIMIENTO
CALAVERA	12,56	12.3	9,8	N0
METODO TEORICO EHE	9,14	12.3	9,8	SI
EH-91	9,55	12.3	9,8	SI

Tabla 5.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 9-10

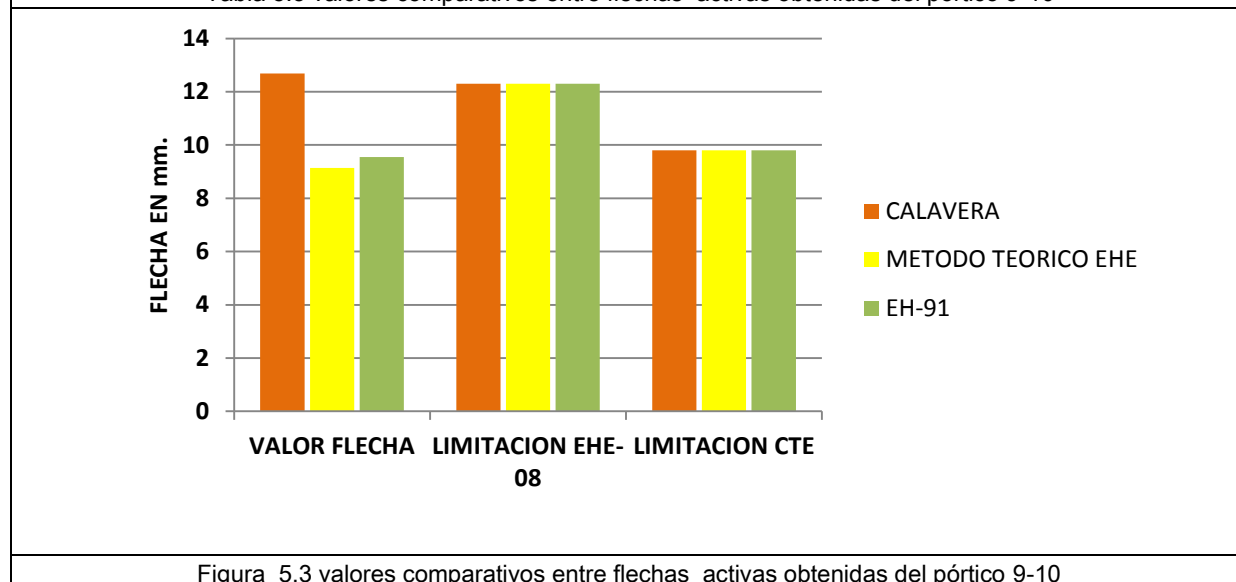


Figura 5.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 9-10

Una vez realizados todos los cálculos comparativos con distintos módulos de deformación del hormigón con la EHE-08, EH-91, EH-68 se deduce y compara (Ver tabla 5.2.19) los datos con la norma hasta el momento más restrictiva que es la ACI-435 la cual aplica un coeficiente para el cálculo del modulo de deformación de 4.500 sin olvidar que la limitación de flecha en esta norma esta en $L/600$ o 6,1.

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	3,16	14417,09
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	13,87
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	104		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	44,2		3	16	3	10
M_t (KNm)	21,36	Mdcha (KNm)	104					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	2,31E+08						D_n	0,00187
x (mm)	62,94							
I_e (mm4)	2,58E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	66,48	P.PROPIO	30,40	30,40			>5 años	2
RESTO CP	11,50	RESTO DE CP	5,26				1 año	1,4
CV	15,03	TOTAL DIFERIDA	35,66				6 meses	1,2
TOTAL INSTANTTÁNEA	93,01	FLECHA TOTAL	128,66	96,88	31,78		3 meses	1
L/#	53,22	L/#	38,47	51,10	155,74		1 mes	0,7
		ξ_1 (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	0,5
		ξ_1 (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		93,01	53,22					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		128,66	38,47					
FLECHA ACTIVA		31,78	155,74					

Tabla 5.2.19 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10 (ACI-435)

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,el}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	3,16	27232,14
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	7,34
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	104		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	44,2		3	16	3	10
M_r (KNm)	21,36	Mdcha (KNm)	104					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	1,38E+08						A_c	0,00187
x (mm)	48,85							
I_o (mm ⁴)	1,75E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	51,79	P.PROPIO	23,68	23,68				
RESTO CP	8,96	RESTO DE CP	4,10					
CV	11,71	TOTAL DIFERIDA	27,78					
TOTAL INSTANTTÁNEA	72,45	FLECHA TOTAL	100,23	75,47	24,76			
L/#	68,32	L/#	49,39	65,59	199,91			
		ξ_a (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_f (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		72,45	68,32					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		100,23	49,39					
FLECHA ACTIVA		24,76	199,91					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.20 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10 (EHE-08)

Tabla 5.2.20 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10 (EHE-08)

Conclusiones análisis comparativo ACI-435 y EHE-08

COMPARATIVO

Luz de la viga es de $490/400 = 12.3$ mm. SEGÚN EHE

Luz de la viga es de $490/600 = 8,17$ mm. SEGÚN EHE

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA	LIMITACION EHE-08	LIMITACION ACI-435	CUMPLIMIENTO
EC=4.500	9.30	12.3	8,17/6.1cm	SI/NO
EC=8.500	7.24	12.3	8,17/6,1cm	SI/NO

Tabla 5.4 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 9-10

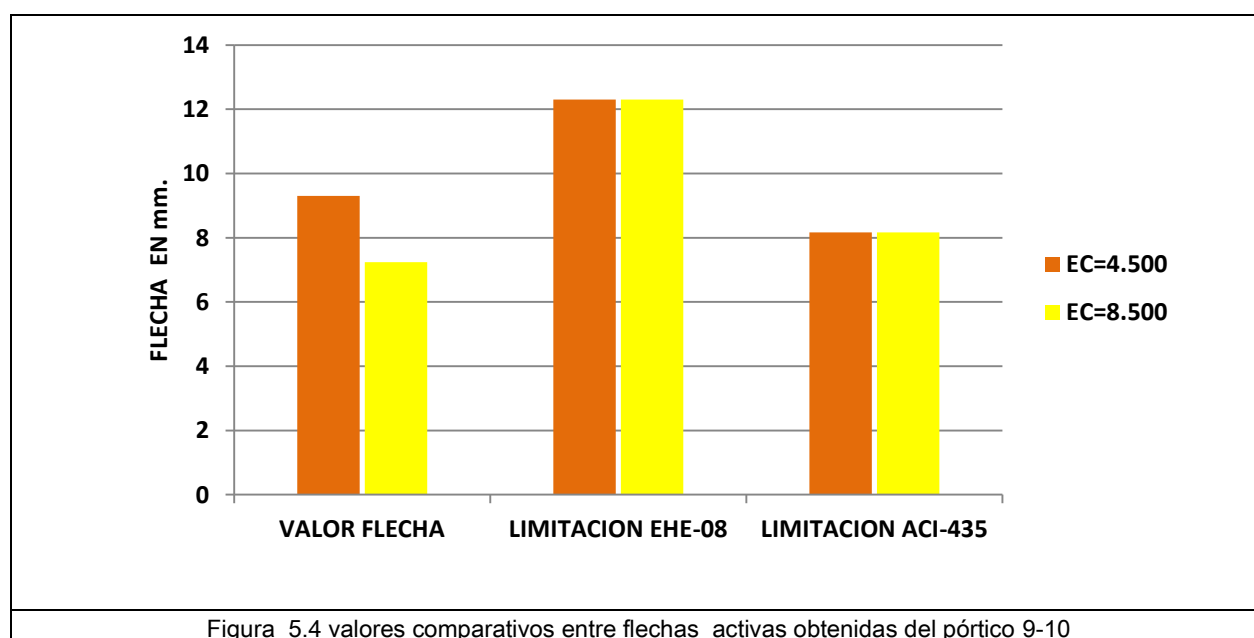


Figura 5.4 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 9-10

Se puede apreciar que el tramo P9-P10 de la viga no cumpliría con la norma Americana ACI-435 por limitación estricta de 6 cm y si con las tablas de esbelteces, en consecuencia las estructuras calculadas con las directrices de la EHE-08 son más deformables que las calculadas con la ACI-435. (Tabla 5.4 y figura 5.4).

7 CONCLUSIONES

1. Con las sucesivas instrucciones españolas de hormigón estructural, se ha ido produciendo una disminución del valor del módulo de elasticidad asignado al hormigón lo que se ha traducido en incrementos sucesivos de valores de flecha calculada.(Ver anexo de cálculo tabla 6.1)
2. Los valores de flecha calculada con las últimas instrucciones se acercan más a los valores reales.
3. La normativa norteamericana (ACI) predice módulos de elasticidad del hormigón inferiores a los de la norma española (EHE), obteniendo así mayores valores de flecha calculada.(Ver anexo de cálculo tabla 6.2)
4. El aumento de la resistencia mínima del hormigón a 25 MPa tiene una incidencia bajísima en el cálculo de flechas.(Ver anexo de cálculo tabla 6.3)

8 LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Una futura investigación de la incidencia además del módulo de deformación longitudinal del hormigón en la deformación excesiva por flecha, considerará factores como:

1. La redistribución de momentos,
2. Tener en cuenta las cargas que se van acumulando en los forjados de plantas superiores a inferiores.
3. Los estadios temporales de la construcción de las estructuras de hormigón para evitar deformaciones prematuras permanentes en los elementos de hormigón.

9 REFERENCIAS

- ⁱ Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-82.
- ⁱⁱ Instrucción de hormigón estructural EHE-08.
- ⁱⁱⁱ PÉREZ B. y BARBERÁ a limitación de la flecha activa en el código técnico de la edificación y en la instrucción *EF-EHE*.
- ^{iv} CALAVERA, DUTARI Y RODRIGUEZ .Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado 2009
- ^v PÉREZ B. y BARBERÁ E., Manual del hormigón estructural, M.P.C., Valencia, 2005
- ^{vi} CALAVERA J., Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón, Tomo II, INTEMAC, Madrid, 1999
- ^{vii} CALAVERA J. y GARCÍA DURARI L., Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado, INTEMAC, Madrid, 1992
- ^{viii} ÁLVAREZ J. I., BAQUEDANO F., GUTIÉRREZ J. P. Y RECUERO A., "Fisuración y cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado", monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento, n. 376377, Madrid, 1984
- ^{ix} GILBERT R. I., "Shrinkage, Cracking and Deflection the Serviceability of Concrete Structures", Electronic Journal of Structural Engineering, Vol. 1, No. 1, 2001, 214
- ^x Tesis doctoral de Dña. Elvira Átela. Estudio de las flechas en los edificios. 1986.
- ^{xi} Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-91.
- ^{xii} CALAVERA, J.; "Compatibility of Structures with the other parts of the Building" C.LB. Congress. News Review. Stockolm. 1983.
- ^{xiii} Response of Buildings to Lateral Forces. ACI Committee 442.
- ^{xiv} RÜSCH, H.; MAYER, H.; Bauschaden als Folge der Durchbiegung von Stahlbeton Bauteilen. Berlín, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. N." 10. 1964.
- ^{xv} PFEFFERMANN, O; PATIONY, J. J.; "Fissuration del cloisoms due a une deformation excesive du support", C.S.T.O. Revue. N." 4. Decembre. 1975.
- ^{xvi} CALAVERA, J; GARCIA DUTARI, L...: Cálculo de Flechas en Estructuras de Hormigón. INTEMAC. Madrid. 1992
- ^{xvii} GARCÍA MESEGUER. Hormigón Armado I.UNED.ISBN84-86957-85-0,1985
- ^{xviii} GARCÍA MESEGUER. Hormigón Armado I.UNED.ISBN84-86957-85-0,1992
- ^{xix} "Proyecto y cálculo de estructuras hormigón, en masa, armado, pretensado" 2ª edición. INTEMAC. Madrid 2008
- ^{xx} FAVRE, R., KOPRNA, M., RADOJICIC, A., "Effects differés, fisuration et deformations des structures en béton ", Eco1e Politechnique Fédérale de Laussane , Ed. Georgi Sain t Saphorin , Suisse, 1980.
- ^{xxi} BRANSON, DE, "Design Procedures for Computing Deflections", A.C.J. Journal, Vol. 65, 730 (25), 1968.
- ^{xxii} AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, A.C.1. 318-83, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", A.C.J. Manual of Concrete Practice, Part 3, 1989.

-
- xxiii Bulletin 235 CEB DEVELOPMENT OF CRACK AND DEFLECTIONS IN ELEMENTS Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Lausanne. Switzerland.1990
- xxiv DB-SE Seguridad Estructural.Deformaciones.Flechas.2007
- xxv CALAVERA, J; GARCIA DUTARI, L...: Cálculo de Flechas en Estructuras de Hormigón. INTEMAC. Madrid. 2009.
- xxvi CALAVERA, J; GARCIA DUTARI, L...: Cálculo de Flechas en Estructuras de Hormigón. INTEMAC. Madrid. 1992.
- xxvii
- xxviii Instrucción de Hormigón Estructural "EH" 11-Diciembre 1998.
- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa ó armado EH-91 28 de Junio de 1991.
- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa ó armado EH-88 y EF-88 1987.
- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa ó armado 1968.
- Instrucción para el proyecto de Hormigón 1951
- xxix CALAVERA, J; GARCIA DUTARI, L...: Cálculo de Flechas en Estructuras de Hormigón. INTEMAC. Madrid. 2009.

10 ÍNDICE ANEXO DE CÁLCULO

Primer análisis. Comprobación EH-91, HA-17.5

Primera comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.1).....	85
Segunda comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.2).....	86
Tercera comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.3).....	87

Segundo análisis. Comprobación HA-17.5 y HA-25.

Primera comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.4 y 5.2.5).....	88
Segunda comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.6 y 5.2.7).	90
Tercera comprobación. Tramo P7-P8. (Ver tabla 5.2.8 y 5.2.9).....	92

Tercer análisis. Comprobación EH-91, HA-17.5

Primera, segunda y tercera comprobación. Tramo P9-P10 (ver tabla 5.2.10, 5.2.11, 2.13).....	94
--	----

Cuarto análisis. Comprobación HA-17.5 y HA-25.

Primera comprobación. Tramo P9-P10. (Ver tabla 5.2.13 y 5.2.14).....	97
Segunda comprobación. Tramo P9-P10. (Ver tabla 5.2.15 y 5.2.16).....	99
Tercera comprobación. Tramo P9-P10. (Ver tabla 5.2.17 y 5.2.18).....	101

Comprobación ACI-435 y EHE-08.

Cálculos comparativos ACI-435 y EHE-08. (Ver tabla 5.2.19).....	103
Datos referentes a conclusiones.(Ver tabla 6.1, 6.2, 6.3).....	105

VIGA P7-P8 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	24991,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	8,00
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_f (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	1,42E+08						ρ_a	0,00187
x (mm)	60,71							
I_e (mm4)	1,45E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	71,26	P.PROPIO	32,58	32,58				
RESTO CP	15,69	RESTO DE CP	7,17					
CV	20,50	TOTAL DIFERIDA	39,76					
TOTAL INSTANTTÁNEA	107,44	FLECHA TOTAL	147,20	103,85	43,36			
L/#	46,07	L/#	33,63	47,67	114,17			
		ξ_s (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		107,44	46,07					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		147,20	33,63					
FLECHA ACTIVA		43,36	114,17					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.1 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EHE-08)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EH-91									
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,d}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)	
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	55863,93	
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n	
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	3,58	
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92						
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA		
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ	
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10	
M_t (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)	56,5						
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08	
I_f (mm ⁴)	7,34E+07						ρ_a	0,00187	
x (mm)	43,49								
I_e (mm4)	7,74E+07								
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN		
P. PROPIO	59,67	P.PROPIO	27,28	27,28			>5 años		
RESTO CP	13,13	RESTO DE CP	6,01				1 año		
CV	17,16	TOTAL DIFERIDA	33,29				6 meses		
TOTAL INSTANTTÁNEA	89,97	FLECHA TOTAL	123,25	86,95	36,30		3 meses		
L/#	55,02	L/#	40,16	56,93	136,35		1 mes		
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas		
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1					
		ξ	0,5	0,5					
		λ	0,46	0,46					
		mm	L/#						
FLECHA INSTANTÁNEA		89,97	55,02						
FLECHA A LOS 5 AÑOS		123,25	40,16						
FLECHA ACTIVA		36,30	136,35						

Tabla 5.2.2 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EH-91)

$$E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EH-68

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	61338,52
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	3,26
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_r (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	6,77E+07						A_3	0,00187
x (mm)	41,77							
I_e (mm ⁴)	7,19E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	58,52	P.PROPIO	26,76	26,76			>5 años	2
RESTO CP	12,88	RESTO DE CP	5,89				1 año	1,4
CV	16,83	TOTAL DIFERIDA	32,65				6 meses	1,2
TOTAL INSTANTTÁNEA	88,24	FLECHA TOTAL	120,88	85,28	35,60		3 meses	1
L/#	56,10	L/#	40,95	58,04	139,03		1 mes	0,7
		ξ_r (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	0,5
		ξ_r (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA	88,24	56,10						
FLECHA A LOS 5 AÑOS	120,88	40,95						
FLECHA ACTIVA	35,60	139,03						

Tabla 5.2.3 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EH-68)

$$E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-25	25,00	3,16	27232,08
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	7,34
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_i (KNm)	14,24	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	1,33E+08						O_s	0,00187
x (mm)	58,67							
I_e (mm4)	1,39E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	68,04	P.PROPIO	31,11	31,11				
RESTO CP	14,98	RESTO DE CP	6,85					
CV	19,57	TOTAL DIFERIDA	37,96					
TOTAL INSTANTTÁNEA	102,58	FLECHA TOTAL	140,54	99,15	41,39			
L/#	48,25	L/#	35,22	49,93	119,58			
		ξ_s (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_s (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		102,58	48,25					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		140,54	35,22					
FLECHA ACTIVA		41,39	119,58					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.4 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EHE-08) fck 25 (N/mm2)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,rd}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	27232,08
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	7,34
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)		42,5	2	20	2	10
M_t (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)		56,5				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)		A_2 (mm ²)	
I_f (mm ⁴)	1,33E+08				628,32		O_p	
x (mm)	58,67						0,00187	
I_e (mm ⁴)	1,36E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	69,83	P.PROPIO	31,93	31,93				
RESTO CP	15,37	RESTO DE CP	7,03					
CV	20,08	TOTAL DIFERIDA	38,96					
TOTAL INSTANTTÁNEA	105,28	FLECHA TOTAL	144,24	101,76	42,48			
L/#	47,02	L/#	34,32	48,65	116,51			
		ξ_s (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_s (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		105,28	47,02					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		144,24	34,32					
FLECHA ACTIVA		42,48	116,51					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.5 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EHE-08) fck 17,5 (N/mm2)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EH-91

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-25	25,00	3,16	60272,16
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	3,32
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_r (KNm)	14,24	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	6,88E+07						ρ_s	0,00187
x (mm)	42,08							
I_e (mm ⁴)	7,78E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	55,06	P.PROPIO	25,17	25,17				
RESTO CP	12,12	RESTO DE CP	5,54					
CV	15,84	TOTAL DIFERIDA	30,72					
TOTAL INSTANTTÁNEA	83,01	FLECHA TOTAL	113,73	80,23	33,50			
L/#	59,63	L/#	43,53	61,70	147,78			
		ξ_c (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		83,01	59,63					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		113,73	43,53					
FLECHA ACTIVA		33,50	147,78					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.6 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EH-91) fck 25 (N/mm2)

$$E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EHE-91

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA17,5	17,50	2,44	55496,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	3,60
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)		42,5	2	20	2	10
M_f (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)		56,5				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)		A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	7,38E+07						α_s	0,00187
x (mm)	43,61							
I_e (mm ⁴)	7,78E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	59,75	P.PROPIO	27,32	27,32				
RESTO CP	13,15	RESTO DE CP	6,01					
CV	17,19	TOTAL DIFERIDA	33,33					
TOTAL INSTANTTÁNEA	90,09	FLECHA TOTAL	123,42	87,07	36,35			
L/#	54,95	L/#	40,11	56,85	136,17			
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		90,09	54,95					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		123,42	40,11					
FLECHA ACTIVA		36,35	136,17					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.7 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EH-91) fck 25 (N/mm2)

$$E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EHE-91

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,rt}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-25	25,00	3,16	67279,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	2,97
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)		42,5	2	20	2	10
M_f (KNm)	14,24	Mdcha (KNm)		56,5				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)		A_2 (mm ²)	
I_f (mm ⁴)	6,26E+07				628,32		157,08	
x (mm)	40,12						O_{ϕ}	
I_e (mm ⁴)	7,18E+07						0,00187	
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	53,42	P.PROPIO	24,43	24,43				
RESTO CP	11,76	RESTO DE CP	5,38					
CV	15,36	TOTAL DIFERIDA	29,80					
TOTAL INSTANTTÁNEA	80,54	FLECHA TOTAL	110,34	77,84	32,50			
L/#	61,46	L/#	44,86	63,59	152,31			
		ξ_s (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_r (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		80,54	61,46					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		110,34	44,86					
FLECHA ACTIVA		32,50	152,31					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.8 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EH-91) fck 25 (N/mm2)

$$E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P7-P8 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,rd}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	400	PESO PROPIO (KN/m)	47,7	0,663	HA-17,5	17,50	2,44	61338,52
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,146	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,191	B 500 S	500	200000	3,26
LUZ (m)	4,95	TOTAL	71,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	3,09E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	4,51E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_f (KNm)	11,00	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	6,77E+07						O_a	0,00187
x (mm)	41,77							
I_e (mm ⁴)	7,19E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	58,52	P.PROPIO	26,76	26,76				
RESTO CP	12,88	RESTO DE CP	5,89					
CV	16,83	TOTAL DIFERIDA	32,65					
TOTAL INSTANTTÁNEA	88,24	FLECHA TOTAL	120,88	85,28	35,60			
L/#	56,10	L/#	40,95	58,04	139,03			
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		88,24	56,10					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		120,88	40,95					
FLECHA ACTIVA		35,60	139,03					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.9 SC-78 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 7-8(EHE-08) fck 17,5 (N/mm2)

$$E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EHE-08

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	24991,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	8,00
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA								
I_f (mm ⁴)	1,54E+08				A_1 (mm ²)		A_2 (mm ²)	
x (mm)	51,48				628,32			
I_e (mm ⁴)	1,72E+08						D_o	
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	77,92	P.PROPIO	36,67	36,67				
RESTO CP	13,48	RESTO DE CP	6,34					
CV	17,61	TOTAL DIFERIDA	43,02					
TOTAL INSTANTTÁNEA	109,01	FLECHA TOTAL	152,03	114,60	37,44			
L/#	44,95	L/#	32,23	42,76	130,89			
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,47	0,47				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		109,01	44,95					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		152,03	32,23					
FLECHA ACTIVA		37,44	130,89					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.10 SC9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH-91)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EH-91

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,el}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	55496,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	3,60
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	42,5		3	16	3	10
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	7,53E+07							
x (mm)	36,05							
I_e (mm4)	9,80E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	64,52	P.PROPIO	29,50	29,50				
RESTO CP	11,16	RESTO DE CP	5,10					
CV	14,58	TOTAL DIFERIDA	34,60					
TOTAL INSTANTTÁNEA	90,26	FLECHA TOTAL	124,87	94,02	30,85			
L/#	54,84	L/#	39,64	52,65	160,47			
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_i (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		90,26	54,84					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		124,87	39,64					
FLECHA ACTIVA		30,85	160,47					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.11 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 8-10(EH91)

$$E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EH-68

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,ol}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	61338,52
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	3,26
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)		42,5	3	16	3	10
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)		56,5				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA								
I_f (mm ⁴)	6,90E+07				A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
x (mm)	34,50				ρ_s			0,00187
I_e (mm ⁴)	9,20E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	62,16	P.PROPIO	28,42	28,42			>5 años	2
RESTO CP	10,75	RESTO DE CP	4,92				1 año	1,4
CV	14,05	TOTAL DIFERIDA	33,34				6 meses	1,2
TOTAL INSTANTTÁNEA	86,96	FLECHA TOTAL	120,30	90,58	29,72		3 meses	1
L/#	56,92	L/#	41,15	54,65	166,56		1 mes	0,7
		ξ_c (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	0,5
		ξ_c (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		86,96	56,92					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		120,30	41,15					
FLECHA ACTIVA		29,72	166,56					

Tabla 5.2.12 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH91)

$$E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EHE-08,HA-25

RECUBRIMIENTO (mm)		30	ORIGEN		VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)		600	PESO PROPIO (KN/m)		60,7	0,715	HA-25	25,00	2,44	27232,28
CANTO (mm)		260	RESTO C. P. (KN/m)		10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)		210	SCU (KN/m)		13,72	0,162	B 500 S	500	200000	7,34
LUZ (m)		4,9	TOTAL		84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA			SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)				ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	104			n	ϕ	n	ϕ	
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	44			3	16	3	10	
M_l (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	104							
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA							A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	1,38E+08						ρ_s	0,00187		
x (mm)	48,85									
I_e (mm4)	1,55E+08									
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN		ξ	
P. PROPIO	54,92	P.PROPIO	25,11	25,11			>5 años		2	
RESTO CP	9,50	RESTO DE CP	4,34				1 año		1,4	
CV	12,41	TOTAL DIFERIDA	29,46				6 meses		1,2	
TOTAL INSTANTTÁNEA	76,84	FLECHA TOTAL	106,29	80,04	26,26		3 meses		1	
L/#	63,77	L/#	46,10	61,22	186,60		1 mes		0,7	
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas		0,5	
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1						
		ξ	0,5	0,5						
		λ	0,46	0,46						
		mm	L/#							
FLECHA INSTANTÁNEA		76,84	63,77							
FLECHA A LOS 5 AÑOS		106,29	46,10							
FLECHA ACTIVA		26,26	186,60							

Tabla 5.2.13 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EHE-08)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EHE-08,HA-17.5

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	24991,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	8,00
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08
I_f (mm ⁴)	1,54E+08							
x (mm)	51,48							
I_e (mm4)	1,72E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	77,92	P.PROPIO	36,67	36,67			>5 años	
RESTO CP	13,48	RESTO DE CP	6,34				1 año	
CV	17,61	TOTAL DIFERIDA	43,02				6 meses	
TOTAL INSTANTTÁNEA	109,01	FLECHA TOTAL	152,03	114,60	37,44		3 meses	
L/#	44,95	L/#	32,23	42,76	130,89		1 mes	
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,47	0,47				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		109,01	44,95					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		152,03	32,23					
FLECHA ACTIVA		37,44	130,89					

Tabla 5.2.14 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EHE-08)

$$E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$$

VIGA P9-P10 EH-91,HA-25

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES				
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)	
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	2,44	60872,16	
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n	
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	3,29	
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92						
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA		
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	ϕ	n	ϕ	
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	42,5		3	16	3	10	
M_t (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	56,5						
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62	
I_f (mm ⁴)	6,94E+07						ρ_s	0,00187	
x (mm)	34,62								
I_e (mm4)	9,24E+07								
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA				
P. PROPIO	59,43	P.PROPIO	27,17	27,17					
RESTO CP	10,28	RESTO DE CP	4,70						
CV	13,43	TOTAL DIFERIDA	31,87						
TOTAL INSTANTTTÁNEA	83,14	FLECHA TOTAL	115,01	86,60	28,41				
L/#	58,94	L/#	42,60	56,58	172,46				
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5					
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1					
		ξ	0,5	0,5					
		λ	0,46	0,46					
		mm	L/#						
FLECHA INSTANTÁNEA		83,14	58,94						
FLECHA A LOS 5 AÑOS		115,01	42,60						
FLECHA ACTIVA		28,41	172,46						

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.15 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH-91) $E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$

VIGA P9-P10 EH-91,HA-17.5

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f _{ck} (N/mm ²)	f _{ct,pl} (N/mm ²)	E _{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	55863,93
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f _{yk} (N/mm ²)	E _s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	3,58
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I _b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	56,5		n	φ	n	φ
W _b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	42,5		2	20	2	10
M _l (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)	56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A ₁ (mm ²)	628,32	A ₂ (mm ²)	157,08
I _f (mm ⁴)	7,75E+07						0,00125	
x (mm)	36,43							
I _e (mm4)	1,00E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	59,82	P.PROPIO	28,15	28,15			2	
RESTO CP	10,35	RESTO DE CP	4,87				1,4	
CV	13,52	TOTAL DIFERIDA	33,02				1,2	
TOTAL INSTANTTTÁNEA	83,69	FLECHA TOTAL	116,71	87,97	28,74		1	
L/#	58,55	L/#	41,98	55,70	170,51		0,7	
		ξ _i (aplicación carga)	0,5	0,5			0,5	
		ξ _r (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,47	0,47				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		83,69	58,55					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		116,71	41,98					
FLECHA ACTIVA		28,74	170,51					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ _r
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.16 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH-91) $E_{cm} = 19.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$

VIGA P9-P10 EH-68,HA-25

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	2,44	67279,76
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	2,97
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_p (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ
W_p (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)		42,5	3	16	3	10
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)		56,5				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)		A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	6,36E+07						D_o	0,00187
x (mm)	33,12							
I_e (mm4)	8,69E+07							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	57,19	P.PROPIO	26,15	26,15			>5 años	
RESTO CP	9,89	RESTO DE CP	4,52				1 año	
CV	12,93	TOTAL DIFERIDA	30,67				6 meses	
TOTAL INSTANTTÁNEA	80,01	FLECHA TOTAL	110,68	83,34	27,34		3 meses	
L/#	61,25	L/#	44,27	58,80	179,21		1 mes	
		ξ_c (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	
		ξ_f (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		80,01	61,25					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		110,68	44,27					
FLECHA ACTIVA		27,34	179,21					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

Tabla 5.2.17 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH-68) $E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$

VIGA P9-P10 EH-91,HA-17.5

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES				
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)	
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-17,5	17,50	2,44	61744,34	
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n	
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	3,24	
LUZ (m)	4,9	TOTAL	84,92						
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA		
I_p (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		56,5	n	ϕ	n	ϕ	
W_p (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)		42,5	2	20	2	10	
M_f (KNm)	16,49	Mdcha (KNm)		56,5					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	628,32	A_2 (mm ²)	157,08	
I_f (mm ⁴)	7,10E+07						ρ_a	0,00125	
x (mm)	34,84								
I_e (mm4)	9,39E+07								
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN		ξ
P. PROPIO	57,66	P.PROPIO	27,14	27,14			>5 años		2
RESTO CP	9,97	RESTO DE CP	4,69				1 año		1,4
CV	13,03	TOTAL DIFERIDA	31,83				6 meses		1,2
TOTAL INSTANTTÁNEA	80,67	FLECHA TOTAL	112,50	84,80	27,70		3 meses		1
L/#	60,74	L/#	43,56	57,78	176,89		1 mes		0,7
		ξ_i (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas		0,5
		ξ_r (evaluación flecha)	0,5	1					
		ξ	0,5	0,5					
		λ	0,47	0,47					
		mm	L/#						
FLECHA INSTANTÁNEA		80,67	60,74						
FLECHA A LOS 5 AÑOS		112,50	43,56						
FLECHA ACTIVA		27,70	176,89						

Tabla 5.2.18 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10(EH-68) $E_{cm} = 21.000 \sqrt[3]{F_{ck}}$

VIGA P9-P10 ACI-435,HA-25

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,pl}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	3,16	14417,09
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	13,87
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)		104	n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)		44,2	3	16	3	10
M_f (KNm)	21,36	Mdcha (KNm)		104				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	2,31E+08							
x (mm)	62,94							
I_e (mm4)	2,58E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA		EDAD DEL HORMIGÓN	
P. PROPIO	66,48	P.PROPIO	30,40	30,40			>5 años	2
RESTO CP	11,50	RESTO DE CP	5,26				1 año	1,4
CV	15,03	TOTAL DIFERIDA	35,66				6 meses	1,2
TOTAL INSTANTTÁNEA	93,01	FLECHA TOTAL	128,66	96,88	31,78		3 meses	1
L/#	53,22	L/#	38,47	51,10	155,74		1 mes	0,7
		ξ_a (aplicación carga)	0,5	0,5			2 semanas	0,5
		ξ_f (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		93,01	53,22					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		128,66	38,47					
FLECHA ACTIVA		31,78	155,74					

 Tabla 5.2.19 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10 (ACI-435) $E_{cm} = 4.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$

VIGA P9-P10 EHE-08,HA-25

DIMENSIONES		ACCIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			MATERIALES			
RECUBRIMIENTO (mm)	30	ORIGEN	VALOR	%	HORMIGON	f_{ck} (N/mm ²)	$f_{ct,el}$ (N/mm ²)	E_{cm} (N/mm ²)
ANCHO (mm)	600	PESO PROPIO (KN/m)	60,7	0,715	HA-25	25,00	3,16	27232,14
CANTO (mm)	260	RESTO C. P. (KN/m)	10,5	0,124	ACERO	f_{yk} (N/mm ²)	E_s (N/mm ²)	n
CANTO ÚTIL (mm)	210	SCU (KN/m)	13,72	0,162	B 500 S	500	200000	7,34
LUZ (m)	4,95	TOTAL	84,92					
CARACTERÍSTICA MECÁNICAS SECCIÓN BRUTA		SOLICITACIONES (VALOR CARACTERÍSTICO)			ARM. TRACCIONADA		ARM. COMPRIMIDA	
I_b (mm ⁴)	4,63E+08	Mizda (KNm)	104		n	ϕ	n	ϕ
W_b (mm ³)	6,76E+06	Mcv (KNm)	44,2		3	16	3	10
M_f (KNm)	21,36	Mdcha (KNm)	104					
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SECCION FISURADA					A_1 (mm ²)	603,19	A_2 (mm ²)	235,62
I_f (mm ⁴)	1,38E+08						O_p	0,00187
x (mm)	48,85							
I_e (mm ⁴)	1,75E+08							
FLECHA INSTANTÁNEA (mm)		FLECHA DIFERIDA	5 AÑOS	EJECUCIÓN TABIQUERÍA	FLECHA ACTIVA			
P. PROPIO	51,79	P.PROPIO	23,68	23,68				
RESTO CP	8,96	RESTO DE CP	4,10					
CV	11,71	TOTAL DIFERIDA	27,78					
TOTAL INSTANTTÁNEA	72,45	FLECHA TOTAL	100,23	75,47	24,76			
L/#	68,32	L/#	49,39	65,59	199,91			
		ξ_t (aplicación carga)	0,5	0,5				
		ξ_t (evaluación flecha)	0,5	1				
		ξ	0,5	0,5				
		λ	0,46	0,46				
		mm	L/#					
FLECHA INSTANTÁNEA		72,45	68,32					
FLECHA A LOS 5 AÑOS		100,23	49,39					
FLECHA ACTIVA		24,76	199,91					

EDAD DEL HORMIGÓN	ξ
>5 años	2
1 año	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1
1 mes	0,7
2 semanas	0,5

 Tabla 5.2.20 SC-9-10 SECCION CENTRAL PORTICO 11 PILAR 9-10 (EHE-08) $E_{cm} = 8.500 \sqrt[3]{F_{ck}}$

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA	LIMITACION EHE-08	LIMITACION CTE	CUMPLIMIENTO
EHE-08	9.14	12.3	9,8	SI
EH-91	9.50	12.3	9,8	SI
EH-68	4.40	12.3	9,8	SI

Tabla 6.1 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 9-10

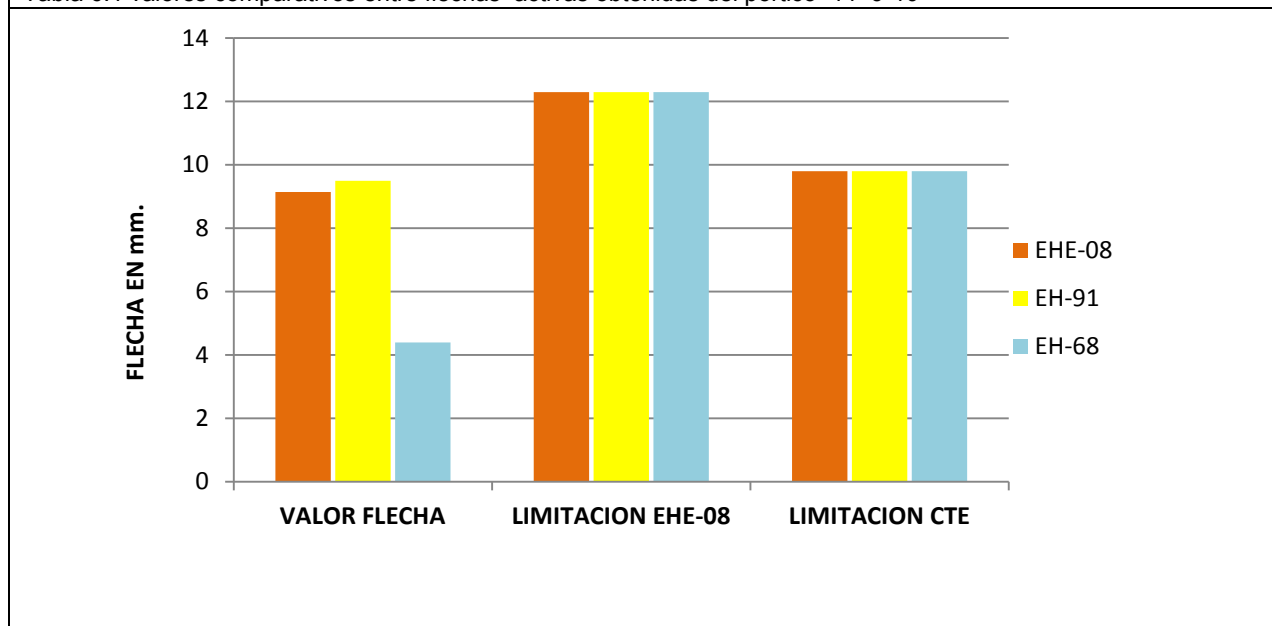


Figura 6.1 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P9-P10

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 17,5	VALOR FLECHA fck (N/mm ²) 30	MINORACION DE FLECHA	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10,50	10,25	-2%	SI
EH-91	9,00	8,30	-2%	SI
EH-68	8,88	8,05	-2%	SI

Tabla 6.2 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 7-8-9 con fck (N/mm²)

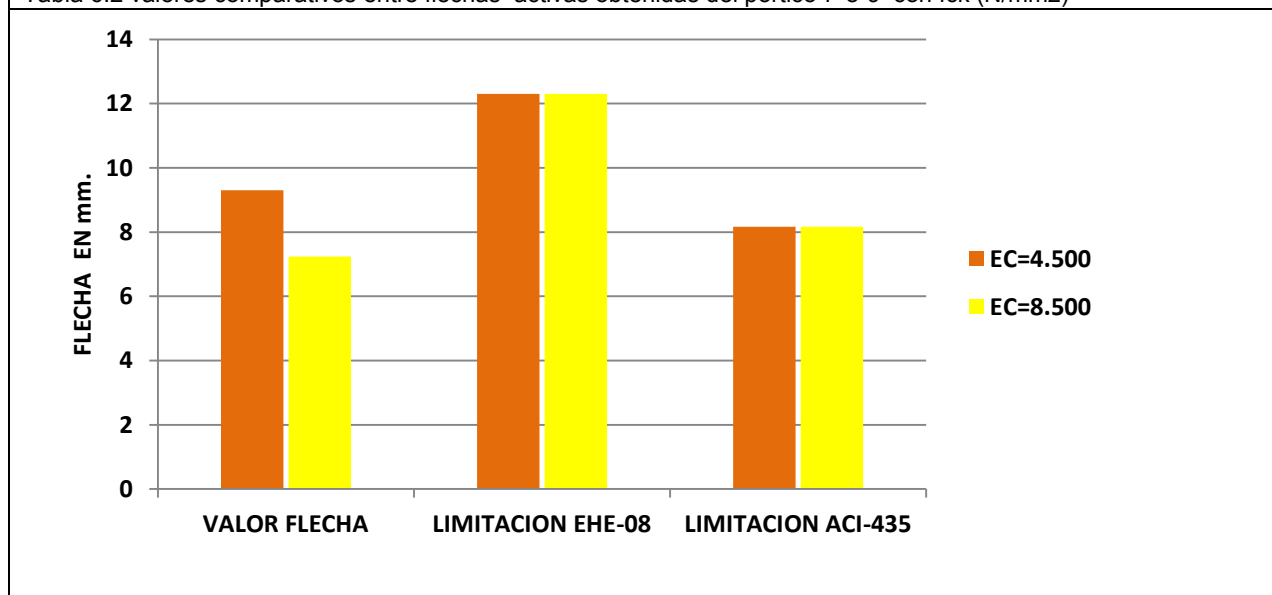


Figura 6.2 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P9-P10

Ec en EH-EHE	VALOR FLECHA fck (N/mm2) 17,5	VALOR FLECHA fck (N/mm2) 30	MINORACION DE FLECHA	CUMPLIMIENTO
EHE-08	10.9	76.84	-2%	SI
EH-91	8,6	8,30	-1%	SI
EH-68	8,01	8,06	-1%	SI

Tabla 6.3 valores comparativos entre flechas activas obtenidas del pórtico 11 P8-P9 en mm.

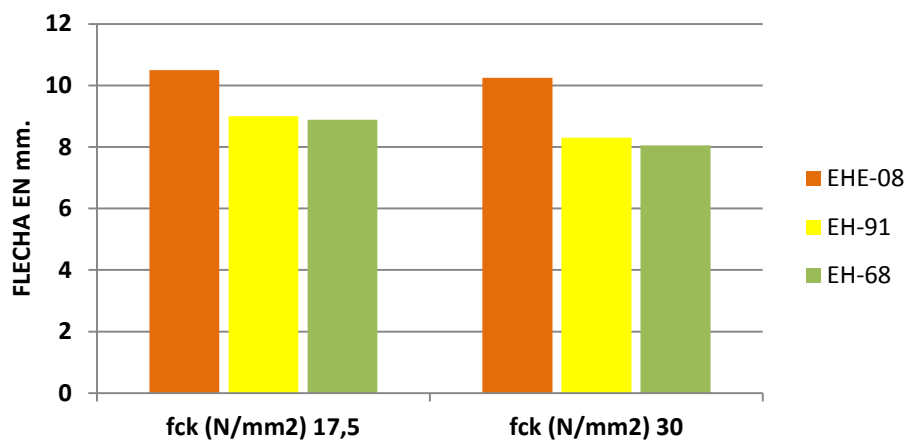


Figura 6.3 Valor de flechas activas en mm obtenidas del pórtico 11 P8-P9 con distintas fck (N/mm2)